

**VITCAPLA (VIRTUAL CONTROL APPLICATION PLATAFORM)
PLATAFORMA ROBÓTICA VIRTUAL REMOLCADORA DE BUQUES**

**SERGIO DUVAN VALLEJO CAGÜEÑAS
DAVID ALEXANDER GIRALDO GARCIA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ
2017**

**VITCAPLA (VIRTUAL CONTROL APPLICATION PLATAFORM)
PLATAFORMA ROBÓTICA VIRTUAL REMOLCADORA DE BUQUES**

**SERGIO DUVAN VALLEJO CAGÜEÑAS
DAVID ALEXANDER GIRALDO GARCIA**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de
Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones**

**Director
José Roberto Cuaran Valenzuela
Ingeniero Electrónico y Electricista, MSc**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL
BOGOTÁ
2017**



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 20, Noviembre 2017

A nuestros familiares por ser el pilar fundamental en todos nuestros logros tanto académicos, como las Experiencias de vida, por su incondicionalidad y apoyo constante a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis es una muestra de nuestro esfuerzo y compromiso frente a nuestra formación académica. Nos gustaría agradecer en primer lugar a cada miembro de nuestras familias, quienes, con su apoyo, consejos, ánimo y compañía fortalecieron nuestra formación de forma integral, ha sido un período de aprendizaje intenso, en donde nos gustaría reconocer a la Universidad Católica de Colombia por permitirnos descubrir nuestras habilidades y formarnos como nuevos profesionales.

También nos agradaría reconocer a nuestro director de trabajo de grado quien con su criterio y experiencia aportó en la realización del presente trabajo grandemente con su ayuda en los momentos difíciles, con su cooperación constante y comunicación oportuna. Definitivamente nos brindó las herramientas necesarias para completar nuestro trabajo de grado satisfactoriamente.

RESUMEN

El remolque de buques en puertos y canales ha sido una actividad económica y social muy importante en el campo de la ingeniería naval en algunos países costeros del mundo, ya que se debe garantizar el arribo y desplazamiento de los mismos a través de un espacio limitado en forma segura. En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo en realidad virtual de una plataforma remolcadora de buques, que permite la ilustración en 3D del transporte de un buque desde el arribo hasta su salida. El entorno virtual también permite emular condiciones de navegación en el canal y establecer conexión física con un sistema de control externo para su manipulación. A diferencia del proceso de remolque empleado convencionalmente, el uso de una plataforma robótica permitiría automatizar el traslado de los buques de manera más eficiente y controlada, reduciendo de esta manera la duración de este proceso y mitigando la causalidad de riesgos de accidentalidad a los operarios del canal.

En la visita técnica internacional al canal de Panamá se logró una gran recopilación de información y análisis de la misma para reforzar el desarrollo del modelo en UNITY de la plataforma remolcadora de buques, ya que se evidenciaron varias embarcaciones pasando por este canal con promedio de tiempo de entre 6 a 9 horas (80 kilómetros total del recorrido) dependiendo de factores como: tiempo de logística. Para sujetar las locomotoras (esclusas Miraflores) y los pequeños remolcadores (esclusas de Cocolí) al buque, las dimensiones del mismo: ancho (manga), largo (eslora) y calado sin contar el tiempo de espera para comenzar las operaciones de entrada, también existen eventos que pueden atrasar considerablemente este tiempo de espera, como lo es el paso de un buque de la armada de los EEUU, lo cual se maneja como una gran prioridad y secreto de estado.

El proceso de remolque y acompañamiento a los buques en el canal es netamente radial, esto evidencio que pueden ocurrir descoordinaciones en la operación por factores de error humano, prueba de ello fueron varias defensas del canal dañadas debido a golpes sufridos del carenaje de varios barcos por estos errores, los cuales afortunadamente solo causaron daños leves en sus estructuras sin afectar su paso por el canal.

Palabras Clave.

Buque, canal, simulación, plataforma, Sistema, realidad virtual.

CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	14
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 VISITA TECNICA A ESCLUSAS DE MIRAFLORES	22
1.2.1 Remolcadores	22
1.2.2 Necesidad de la Ampliación	24
1.2.3 Instalaciones Eletromecánicas	25
1.2.4 Tinas de Reutilización de Agua	26
1.3 VISITA ESCLUSAS DE COCOLÍ	27
1.3.1 Sistema de Control de Procesos	35
1.3.2 Mantenimiento en las nuevas esclusas del Canal de Panamá	37
1.3.2.1 Mantenimiento de Maquinarias	37
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	40
1.5 OBJETIVOS	42
1.5.1 Objetivo General	42
1.5.2 Objetivos Específicos	42
1.6 JUSTIFICACION	43
1.7 DELIMITACION	44
1.7.1 Alcance	44
1.7.2 Limitaciones	44
1.8 MARCO REFERENCIAL	44
1.8.1 Marco Teórico	44
1.8.1.1 Simulación Numérica	44
1.8.2. Marco Conceptual	50
1.9 METODOLOGÍA	52
1.9.1 Fase analítica	52
1.9.2 Fase desarrollo	52
1.9.3 Fase de pruebas	53
1.10 DISEÑO METODOLOGICO	53

2. DESCRIPCION LOS COMPONENTES	55
2.1 GENERAL: HERRAMIENTAS DEL PROTOTIPO	55
2.1.1 Plataforma Unity	55
2.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	57
3. IMPLEMENTACIÓN	59
3.1 IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE	59
3.1.1 Algoritmos	59
3.2 DISEÑO ENTORNO REALIDAD VIRTUAL UNITY	60
3.3 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE	61
3.3.1 Adaptación del control físico	61
3.4 PRUEBAS DEL PROTOTIPO	63
3.4.1 Pruebas de programación GameObjects buques	63
3.4.2 Pruebas Programación Control Físico.	64
3.4.3 Pruebas de Programación Entorno Virtual.	66
3.4.4 análisis de resultados.	68
4. MANUAL VITCAPLA	69
5. DESCRIPCION ECONOMICA DEL PROYECTO	70
6. RECOMENDACIONES	71
7. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	77

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Maquinarias de las Nuevas Esclusas -----	30
Tabla 2. Datos Técnicos Compuertas Rodantes-----	30
Tabla 3. Tipos de Motores-----	32
Tabla 4. Ejemplo de Matriz de Identificación-----	38
Tabla 5. Variables VITCAPLA -----	60
Tabla 6. Presupuesto del Proyecto-----	70

LISTADO DE FIGURAS

	pág.
<i>Figura 1. Modelo de Simulación Virtual de TRANSAS</i>	18
<i>Figura 2. Modelo de Simulación Virtual Péndulo Invertido (UPTC)</i>	19
<i>Figura 3. Modelo de simulación virtual Canal de Panamá.</i>	19
<i>Figura 4. “Miraflones Locks” Panamá Canal</i>	22
<i>Figura 5. Remolcador del Canal de Miraflones de Panamá</i>	23
<i>Figura 6. Control de Remolcadora a un Buque en el Canal de Miraflones de Panamá.</i>	24
<i>Figura 7. Necesidad de la Ampliación</i>	24
<i>Figura 8. Representación Gráfica de las Nuevas Esclusas del Canal de Panamá</i>	26
<i>Figura 9. Representación Gráfica de las Tinas de Reutilización de Agua de las Nuevas Esclusas de Panamá</i>	27
<i>Figura 10. Esclusas de Cocolí</i>	28
<i>Figura 11. Comparación Tamaños de los Buques</i>	29
<i>Figura 12. Componentes Principales de las Compuertas Rodantes</i>	30
<i>Figura 13. Instalación de Válvula de Alcantarilla</i>	31
<i>Figura 14. Válvulas de Conductos y Ecualización</i>	32
<i>Figura 15. Unidad de Potencia Hidráulica</i>	33
<i>Figura 16. Consumo de Agua</i>	33
<i>Figura 17. Tinas de Reutilización de Agua</i>	34
<i>Figura 18. Distribución de Media Tensión</i>	35
<i>Figura 19. Esquema del Sistema de Control de Procesos</i>	35
<i>Figura 20. Consolas HMI del Edificio de Control</i>	36
<i>Figura 21. Estación de Diagnóstico de HPUs</i>	37
<i>Figura 22. Esquema del Mantenimiento de Maquinarias en las Esclusas de Cocolí</i>	38
<i>Figura 23. Inspección Mensual de Variadores de Frecuencia</i>	39
<i>Figura 24. Engrasadores en Ensamblaje de Poleas</i>	39
<i>Figura 25. Remolcador</i>	47
<i>Figura 26. Esclusas de Agua Clara del Canal de Panamá</i>	48
<i>Figura 27. Sistemas de Realidad Virtual Transas ©</i>	49
<i>Figura 28. Diagrama de Sistema de Control en Lazo Abierto</i>	49
<i>Figura 29. Diagrama de Sistema de Control en Lazo Cerrado</i>	50
<i>Figura 30. Implementación del Sistema</i>	54
<i>Figura 31. Entorno de Motor de Videojuegos</i>	56
<i>Figura 32. Control Xbox</i>	57
<i>Figura 33. Diagrama de Flujo del Sistema de Simulación y Control Físico</i>	58
<i>Figura 34. Gameobjects Utilizados en Unity</i>	61
<i>Figura 35. Diferentes Fases en la Adaptación del Circuito Impreso para el Control Físico</i>	62
<i>Figura 36. Declaración de Objetos en la Clase Principal.</i>	64

<i>Figura 37. Llamado de Atributos de las Clases a las que Pertenecen los objetos Dentro de un Método Correspondiente.</i>	64
<i>Figura 38. Palanca de Joystick.</i>	65
<i>Figura 39. Funciones del control físico.</i>	65
<i>Figura 40. Individualización de componentes para esclusa 1 del entorno virtual.</i>	66
<i>Figura 41. Prueba del entorno antes de entrar al “trigger” esclusa 1.</i>	67
<i>Figura 42. Prueba funcionamiento trigger.</i>	67

LISTADO DE ANEXOS

	pág.
<i>Anexo A. Programación Barco</i>	77
<i>Anexo B. Programación Arduino</i>	79
<i>Anexo C. Programación Plataforma</i>	81
<i>Anexo D. Programación Control Serial</i>	83
<i>Anexo E. Manual software simulador plataforma robótica remolcadora de buques VITCAPLA.</i>	86

GLOSARIO

ARDUINO: plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

GAMEOBJECT: la palabra GameObject se utiliza para nombrar cada uno de los objetos 3D, utilizados en el entorno de Unity 3D de igual forma incluye cámaras, entornos etc.

NEO PANAMAX: son buques diseñados para ajustarse a las dimensiones máximas permitidas para el tránsito por las antiguas esclusas del canal de Panamá. El tamaño máximo está determinado por la dimensión de las cámaras de las esclusas y su calado

PBL: “Project Base Learning” es un método de aprendizaje en el cual el estudiante adquiere nuevas habilidades y conocimiento por medio de un periodo de tiempo en el cual se busca la solución a una interrogante, un problema o cambio.

POST PANAMAX: son los nuevos megos barcos, estos pueden transportar en un solo viaje más de 9.500 contenedores, incluso hasta 12.000 contenedores. Tienen una eslora de 366 mts (1,200’), manga de 49 mts (160’) y calado máximo de 15 mts (50’) en agua dulce tropical (ADT). También tienen la capacidad de acomodar hasta 19 filas de contenedores a lo ancho.

REALIDAD VIRTUAL: Es un entorno generado por medio de tecnología de software, la cual está conformada por un conjunto de escenas y objetos de apariencia real, en el cual por medio de interfaces audiovisuales permite que el usuario cambie la percepción de la realidad y este sumergido en el entorno virtual.

RENDER: es un archivo digital el cual es realizado bajo un entorno 3D el cual recrea un escenario real virtualizándolo en un programa computarizado.

SCRIPT: bloque de código de programación el cual se adjunta a la programación principal de un algoritmo como clase y cumple con un fin determinado.

TEU: “Twenty-foot Equivalent Unit” representa la unidad de medida de capacidad del transporte marítimo en contenedores. Es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies.

UNITY: motor de creación de juegos líder en el mundo, es una plataforma disponible a nivel mundial la cual se puede trabajar desde ordenadores Windows y Mac, permite crear videojuegos, recorridos virtuales y simulaciones virtuales o realidad virtual.

SWITCHGEARS: Es utilizado en forma general para hacer referencia a un equipo eléctrico de maniobra.

INTRODUCCIÓN

El remolque de buques en puertos y canales es una tarea importante en el campo de la ingeniería naval, ya que se debe garantizar el arribo y desplazamiento de los mismos a través de un espacio limitado en forma segura. Esta tarea se encuentra regulada en la mayoría de puertos en el mundo y se ha llevado a cabo desde hace más de un siglo.

El transporte de los barcos en el canal de Panamá consiste en trasladarlos de un océano a otro. Esto se realiza de dos formas: una mediante la dirección y guía de locomotoras (por ejemplo, en las esclusas de Miraflores) y otra mediante la asistencia de remolcadores (esclusas de Cocolí). Esta segunda alternativa se usa principalmente para conducir barcos Neopanamax, debido a su gran tamaño. Ambos procedimientos se coordinan por medio de comunicación radial de los operadores a una central, por lo cual se pueden presentar errores de factor humano. Así por ejemplo una mala recepción de cualquier mensaje radial puede ocasionar una brecha en la comunicación entre la central y los operadores o viceversa.

Según el Ingeniero Rafael Alvarado, de la división de esclusas de la autoridad del Canal de Panamá, no se han presentado accidentes graves, pero sí algunos leves, como descoordinación por falta de comunicación entre los remolcadores (Esclusas de Cocolí), causando que el buque golpee las defensas de los bordes del canal, teniendo un daño menor en el carenaje del mismo. Estos errores de factor humano se deben mitigar, ya que podrían traer consecuencias de muerte o pérdidas de algún miembro del operador.

Gracias a la información obtenida en la visita internacional al Canal de Panamá, se analizan los procesos involucrados en el remolque de buques y los problemas asociados, acorde a las condiciones climáticas.

En este proyecto se desarrolla un modelo de realidad virtual para una plataforma remolcadora que permite transportar un buque desde el arribo al canal hasta su salida. El entorno virtual cuenta con la animación de una plataforma robótica remolcadora permitiendo emular condiciones de navegación en el canal o puerto marítimo y se le otorga la capacidad didáctica de conexión física a sistemas de control externos. A diferencia del proceso de remolque usado convencionalmente, este modelo de realidad virtual presenta una plataforma robótica de remolque diseñada para facilitar el transporte de buques desde su arribo al canal hasta su salida.

El remolque de buques mediante una plataforma, se podría implementar de un punto a otro dentro de puertos con alto flujo de buques, reduciendo de esta manera la duración del proceso sin requerir muchos operarios, que normalmente están expuestos a accidentes laborales como se mencionaba anteriormente.

Esta herramienta virtual podría ser útil en prácticas de laboratorio, de la asignatura de pregrado en control, permitiendo a los estudiantes diseñar y realizar pruebas interactivas con el emulador y el sistema de control.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia de la humanidad el mar ha sido el principal medio para el traslado de mercancía a lo largo del mundo, para lo cual ha sido necesario la creación embarcaciones cada vez más robustas y controladas. Se han realizado diferentes investigaciones que modelan el comportamiento de los buques respecto a diferentes acciones y comportamientos con el mar, investigaciones que no tuvieron lugar sino a mediados del siglo XIX ya que se introdujo el concepto de la teoría matemática de la arquitectura naval debido a que antes de esta fecha poca atención se prestaba a la hidrodinámica del buque.

Una de estas investigaciones es “COMPORTAMIENTO DEL BUQUE EN LA MAR”, donde el Doctor Ingeniero Naval el Sr. José Antonio Aláez Zazurca, realiza un estudio sobre el comportamiento de los buques en las diferentes situaciones de oleaje por medio de cálculos matemáticos, ensayos y pruebas con elementos del mismo tamaño; otro tema de “estudio en la ingeniería naval es el control de modelos mecánicos y electrónicos de los buques diseñados”¹. Se toma la referencia porque pone en contexto sobre el funcionamiento de los buques actualmente.

Hoy en día, debido a la necesidad de buques más grandes y con mayor carga se realizan estudios como lo son “DISEÑO DE MODELOS DE VEHÍCULOS MARINOS AUTOMATIZADOS”, allí se analiza la velocidad del buque de acuerdo a la densidad en la mar, el empuje de sus hélices y las velocidades óptimas de maniobrabilidad ². Puesto que dicha información permite comprender la necesidad de adaptarse a la evolución en el transporte marítimo.

En vista al avance de las TIC se han desarrollado avances de emuladores de realidad virtual para los cuales los modelamientos matemáticos anteriormente mencionados han sido imprescindibles. También se usan para la enseñanza de manejo de los barcos para quienes están aprendiendo esta profesión ya que la simulación es muy similar a la vida real, y al desarrollo de otros modelos a vistas de realizar cada vez más completo este campo en la ingeniería.

Uno de estos avances lo podemos ver en la empresa INDRA³, Se toma la referencia porque pone en contexto sobre la situación actual de las simulaciones en puertos y canales, esta se desempeña en la creación de simulaciones en un campo amplio

¹ ALÁEZ ZAZURCA, José Antonio. Comportamiento del Buque en la Mar [en línea]. La Coruña: Universidad de La Coruña [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/8921/CC20art2ocr.pdf?sequence=1>>

² PÉREZ ROJAS, Luis. Diseño de modelos de vehículos marinos automatizados [en línea]. Madrid: XXV Jornadas de Automática [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/149-igerosnng.pdf>>

³ INDRA. A cerca de la empresa [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.indracompany.com/es>>

de vehículos terrestres y navales. Otra empresa encargada a la simulación de entornos de navegación de realidad virtual lo es TRANSAS⁴. Se toma la referencia porque pone en contexto siendo una empresa líder en el mercado por promover el concepto de navegación electrónica, aporta soluciones integradas a la navegación e industria marina; los simuladores de la empresa comprenden los comportamientos de los buques como se ilustra a continuación (véase la Figura 1).

Figura 1. Modelo de Simulación Virtual de TRANSAS



Fuente. NAUTIC EXPO. Simulador de navegación / para remolcador [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.nauticexpo.es/prod/transas-marine-international/product-22918-415993.html>>

A nivel nacional la implementación de herramientas virtuales, de apoyo didáctico en los sistemas de formación académicos de la educación superior, se trabajan con el fin de dar al estudiante oportunidades de aprendizaje variables, como es el caso del siguiente proyecto realizado por la UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA en el cual bajo una plataforma de MATLAB los estudiantes pueden “interactuar con el entorno virtual en el cual pueden realizar diseños de control para la interfaz”⁵ (véase la Figura 2) Se toma la referencia porque pone en contexto sobre la interacción de plataformas en 3D.

⁴ TRANSAS. Vessel traffic management solutions [en línea]. Little Island: La Empresa [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.transas.com/Port-and-Vessel-Traffic-Management-Solutions/Marine/VTs>>

⁵ RODRIGUEZ DÍAZ, Oscar Oswaldo. Herramienta Virtual para la Enseñanza de Control Automático usando PBL [en línea]. Cartagena: Encuentro internacional de educación en Ingeniería ACOFI [citado 20 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/viewFile/881/313>>

Figura 2. Modelo de Simulación Virtual Péndulo Invertido (UPTC)



Fuente. RODRIGUEZ DÍAZ, Oscar Oswaldo. Herramienta Virtual para la Enseñanza de Control Automático usando PBL [en línea]. Cartagena: Encuentro internacional de educación en Ingeniería ACOFI [citado 20 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/viewFile/881/313>>

El Canal de Panamá cuenta con un sistema de simulación de realidad virtual turístico que permite el control de uno de los buques con el cual se realiza el recorrido a lo largo del Canal de Panamá como se ilustra a continuación (véase la Figura 3).

Figura 3. Modelo de simulación virtual Canal de Panamá.



Fuente. MI CANAL DE PANAMÁ. Videos [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/categoría/canal-de-videos/>>

Para dar a conocer el uso e implementación de los remolcadores de buques quienes dieron inicio aproximadamente al momento de realizar transportes marítimos, en un principio fueron funcionales quienes lograron controlar la maniobrabilidad de las embarcaciones empleadas para promover el comercio e intercambio de bienes y

servicios. Durante cada época se utilizaban métodos que fueron mejorando poco a poco a raíz de nuevas necesidades y cargas, a medida que las sociedades iban evolucionando de forma constante, a partir de la segunda Guerra Mundial un suceso que marco la evolución de muchas materias en ingeniería en este caso el marítimo y su operación dio inicio a evaluaciones y análisis de mejora ya que parte del éxito o fracaso en esta guerra dependía de la eficacia y agilidad de sus buques de carga.

La operación en esta época fue deficiente ya que las embarcaciones no usaban quilla ni cuadernas adicionalmente usaban gruesas tablas inmóviles entre sí de forma longitudinal que, hacia la mayor resistencia, cuando el remo fue una de las herramientas principales en una embarcación se desconoce cómo plegaban el contorno y entre muchas otras se desconoce la operación de remolcar los veleros, ya que la vela aumento de altura y tamaño dado el descubrimiento de América.

El proceso de remolque comienza siendo una labor informal donde el velero daba dirección lo que ahora se realiza por medio de los motores, para llegar a esto tomo bastante tiempo en evolucionar el control de remolque hasta que dio inicio por un remolque cuya operación fue de vapor, actualmente la industria de los remolques está dividida en salvamiento, remolque de altura, "Supply", transporte INLAND y asistencia de otros buques en maniobrabilidad de otros buques.

Los remolques en su funcionamiento requieren de una fuerza propulsora dependiendo del trabajo que realizará adicionalmente debe cumplir características como dimensiones de la proa, la altura máxima, es necesario cumplir con las necesidades de la cubierta y legalmente debe cumplir con la potencia de su motor acorde a lo necesario para la actividad. La maniobrabilidad debe poderse ejecutar a giros con un radio mínimo, el puente debe cumplir con la visibilidad completa hacia la proa y hacia la popa, adicionalmente el calado debe ser seguro y permitir la agilidad en casos de que el mar sea de condición gruesa.

Para que los remolcadores brinden un buen servicio de asistencia es necesario que optimicen el espacio en el cuál alberga el sistema de intercomunicación entre el puente, el espacio de máquinas, taller y camarotes de los oficiales, una iluminación eficiente y focos de búsqueda a proa y popa además de cargar la grúa, pines hidráulicos y mordazas.

Las condiciones de equilibrio y estabilidad de un remolcador están definidos por la estabilidad dinámica puesto que la línea de estabilidad debe ser de 60-70 grados y la altura metacéntrica requiere generalmente un mínimo de 0,60cm⁶. Se toma la referencia porque pone en contexto sobre los procesos de remolque de buques. Los

⁶ REMOLCADORES Y ACTUALIZACIONES DE SALVAMIENTO MARITIMO (Escuela técnica Superior de Náutica) [En Línea]. Universidad de Cantabria. [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1415/Alejandro%20Orviz%20G%C3%B3mez.pdf?squence=1>>

elementos del tren de remolque al momento de llevar a cabo la asistencia de buques son el cable de remolque principal, cabo calabrote sintético o fusible, el pie de gallo, las cadenas de remolcado y el cable de recuperación del pie de gallo; este equipo puede variar dependiendo de lo mínimo requerido frente a la función que cumplirá bien sea en un puerto o en un canal. La responsabilidad del buque remolcador se precisa en la coordinación y dirección del buque manteniendo la operación en óptimas condiciones de seguridad durante el transporte⁷. Se toma la referencia porque complementa la información sobre las responsabilidades de los remolcadores que permiten brindar un servicio eficiente.

En Colombia se están implementando nuevas tecnologías en pro de mejorar los recursos y herramientas, permitiendo así una mejor calidad de aprendizaje. En la facultad de ingeniería de la universidad del Valle un grupo de ingenieros implementaron una plataforma virtual la cual permite la simulación y control remoto de un brazo mecánico llamado UV-CERMA, este brazo robótico se encontraba subutilizado ya que su sistema de control ya era obsoleto, para ello se basaron en la siguiente investigación:

La plataforma se basa principalmente en dos aplicaciones (control y mando), locales y remotos para la manipulación de la misma, una de las programaciones (aplicación) se realizó mediante el paquete de National Instruments LabVIEW, la restante por software libre (lenguaje de código abierto Java), con el objetivo de implementar dos clases de modelos: el cinemático directo y el inverso, se utilizaron 2 módulos: uno para el monitoreo de variables y otro para planificar y ejecutar trayectorias teniendo como base un modelo 3D del robot, la manipulación de la plataforma se logra a través de una interfaz con un joystick.

Estas aplicaciones logran “comunicación con el robot por medio de un tarjeta de datos de National Instruments NI USB-6211 y el mando remoto para la plataforma posee una arquitectura cliente/servidor con el uso de sockets TCP/IP”⁸.

Dentro de la evolución de la educación y sus formas de comunicar el conocimiento, día a día el mundo genera herramientas que van ligadas al crecimiento tecnológico, este es el caso de investigaciones las cuales buscan los medios virtuales como medio de enseñanza para la educación superior y media, la universidad de Tachira en Venezuela realiza el siguiente artículo.

Desde el punto de vista educativo la Universidad del Táchira (UNET, Venezuela), se enfoca en el impacto y las implicaciones que pueden generar el desarrollo de los

⁷ ALEA, Eduardo. “OPERATIVAS DE REMOLQUE MARITIMO” [En Línea]. Universidad de Cantabria [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7429/Eduardo%20Alea%20Diez.pdf?sequence=1>

⁸ BUITRAGO MOLINA, José T. Plataforma virtual para el mando local y remoto de un brazo robótico de apoyo para la educación en ingeniería [en línea]. Medellín: Tecno lógicas [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100007>

sistemas (computación), en la enseñanza de la ingeniería electrónica con la incorporación de la instrumentación virtual como “una herramienta para el mejoramiento del aprendizaje y enseñanza de la ingeniería electrónica ya que esta inclusión en el plan de estudios de la carrera ha conseguido mejorar y elevar la calidad con respecto a la formación de sus futuros egresados”⁹.

1.2 VISITA TECNICA A ESCLUSAS DE MIRAFLORES

Hoy por hoy la humanidad ha emprendido retos que marcan el camino frente a los constantes cambios de forma progresiva, cada meta lograda es una contribución significativa en el mundo, la exitosa obra del Canal de Panamá es uno de los logros más inspiradores dado que esta asombrosa obra fue un gran avance en términos de ingeniería, fue posible gracias “al esfuerzo internacional liderado por Estados Unidos, quienes lograron culminar un sueño que duro siglos en poder ser una realidad”¹⁰. Se toma la referencia porque durante la visita técnica internacional de Panamá se vivió y aprendió sobre cada uno de las actividades clave para la culminación de las esclusas. (Véase la Figura 4).

Figura 4. “Miraflores Locks” Panamá Canal



Fuente. Los Autores

1.2.1 Remolcadores. Desde el principio se consideró que, por seguridad, las naves tendrían que ser dirigidas, dentro de las cámaras de la esclusa, por locomotoras eléctricas de remolque sobre las paredes laterales de las cámaras. Estas permiten el control lateral y el frenado de los buques.

⁹ CHACON RUGELES, Rafael. La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica [en línea]. Caracas: Acción Pedagógica [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17071/1/art8_v11n1.pdf>

¹⁰ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

“La fuerza para mover el buque, en y a través de las esclusas, es proporcionada por los motores de las naves y no por los remolcadores”¹¹ (véase la Figura 5). Se toma la referencia porque durante la visita técnica internacional de Panamá se vivió la experiencia y el conocimiento el cuál se plasma en el presente trabajo de grado.

Figura 5. Remolcador del Canal de Miraflores de Panamá



Fuente. Los Autores

Cuando una nave se acerca a las cámaras, primero se levanta hasta la altura de las paredes laterales, que son extensiones de las paredes del centro de las esclusas, donde los remolcadores la toman bajo control.

En el caso de las naves grandes, “hay dos remolcadores en cada lado, y otros dos en cada lado a la altura de la popa – ocho en total -, permitiendo el control preciso de la nave”¹² (véase la Figura 6). Se toma la referencia porque durante la visita técnica internacional de Panamá se pudo apreciar el funcionamiento de los remolcadores además de apreciar sus dimensiones y comprender su importancia.

¹¹ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

¹² UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

Figura 6. Control de Remolcadora a un Buque en el Canal de Miraflores de Panamá.

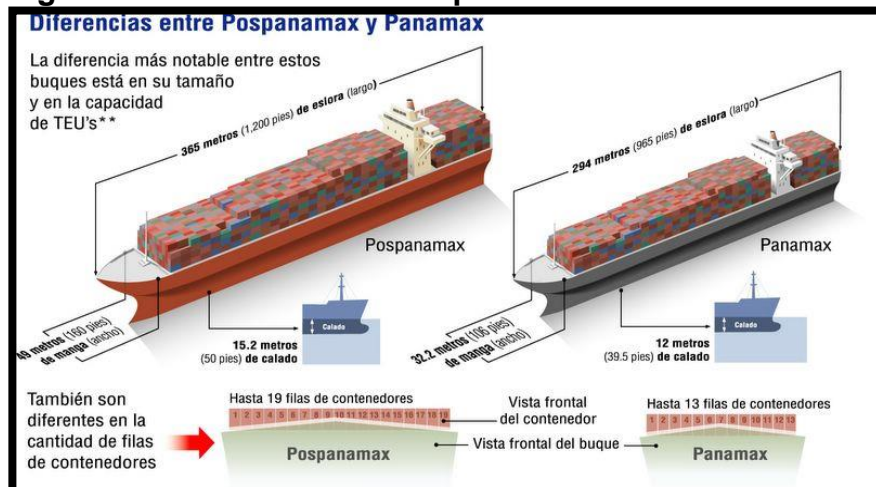


Fuente. Los Autores

1.2.2 Necesidad de la Ampliación. Dada la creciente oferta y demanda entre países, gracias a los avances en las redes de comunicaciones quienes fomentaron un cambio significativo en el comercio global, la capacidad de los buques aumento de peso a la hora su carga. Ante esto, se identificó la necesidad de ampliar el Canal de Panamá y así brindar un servicio que se ajuste a las necesidades de la actualidad. A continuación, se presenta una ilustración que muestra la diferencia de los buques Pospanamax y Panamax realizado por la Universidad Tecnológica de Panamá (véase la Figura 7):

➤Diferencias entre Pospanamax y Panamax (véase la Figura 7).

Figura 7. Necesidad de la Ampliación



Fuente. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad, 2017. Reseña Histórica. Panamá.

1.2.3 Instalaciones Electromecánicas. Las instalaciones electromecánicas incluyen básicamente:

- Sistema de válvulas para el funcionamiento hidráulico del Canal (70 válvulas principales en cada lado del canal, con las rejas y ataguías asociadas).
- Compuertas correderas (8 en cada lado del canal).
- Sistemas eléctricos, de instrumentación y de control.
- Resto de sistemas asociados (anti-incendio, ayuda a la navegación, defensas, bolardos, iluminación, seguridad y asociados a los edificios de apoyo).

El sistema funciona por gravedad, el motor principal que sube y baja los buques en las esclusas es la lluvia acumulada en los lagos situados a un nivel superior.

Los elementos claves en estas instalaciones son:

- Fiabilidad, seguridad y redundancia necesaria
- Tiempos de operación de acuerdo a los requerimientos de la ACP
- Reducción en el consumo de agua para cada esclusada
- Facilidad en su mantenimiento

Para dar a conocer el funcionamiento puesto que cada complejo de esclusas tendrá tres niveles o cámaras las cuales cumplen la función de llenado o drenaje de agua con el fin de nivelar el buque entre los océanos. La configuración será similar a las Esclusas de Gatún existentes. El proyecto creará un nuevo carril con una esclusa en cada lado, “proporcionando una capacidad para manejar embarcaciones de hasta 49 metros (160 pies) de ancho, 366 metros (1.200 pies) de largo y 15 metros (50 pies) de profundidad, o con un volumen de carga de hasta 170.000 toneladas de peso muerto y 12.000 TEU”¹³ (véase la Figura 8). Se toma la referencia de la universidad tecnológica de Panamá porque en su recibimiento dan a conocer las medidas y condiciones del funcionamiento de las nuevas esclusas.

¹³ UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

Figura 8. Representación Gráfica de las Nuevas Esclusas del Canal de Panamá

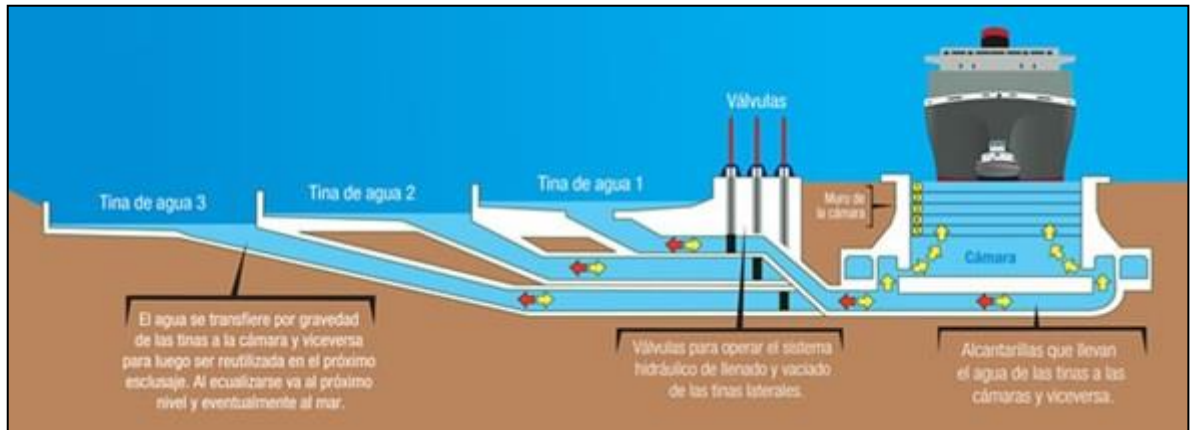


Fuente. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

1.2.4 Tinas de Reutilización de Agua. La cámara de las nuevas esclusas tendrá tres tinas de reutilización de agua, que volverá a utilizar el 60% del agua en cada tránsito. Hay un total de nueve tinas para cada uno de los dos complejos de esclusas y un total de 18 tinas en todo el proyecto. “Cada tina de ahorro de agua es de aproximadamente 70 metros de ancho por 5,50 metros de profundidad. Las nuevas esclusas tendrán 427 metros (1.400 pies) de largo por 55m (180 pies) de ancho y 18,3 metros (60 pies) de profundidad”¹⁴. Se toma la referencia dado que se creó una página específicamente para dar a conocer a estudiantes y profesionales sobre toda la implementación de las esclusas en el canal de Panamá y servir de referencia segura para investigaciones en desarrollo. (Véase la Figura 9).

¹⁴ MI CANAL DE PANAMA. ¿En qué consisten las tinas de reutilización de agua? [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 1 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliación/preguntas-frecuentes/>>

Figura 9. Representación Gráfica de las Tinas de Reutilización de Agua de las Nuevas Esclusas de Panamá



Fuente. MI CANAL DE PANAMA. ¿En qué consisten las tinas de reutilización de agua? [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 1 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliacion/preguntas-frecuentes/>>

1.3 VISITA ESCLUSAS DE COCOLÍ

El recorrido por las nuevas esclusas del canal de Panamá, fue guiado por el Ingeniero Rafael Alvarado, quien con su profundo conocimiento sobre la ampliación del Canal de Panamá expuso la forma en que se realizó el estudio de las propuestas para llevar a cabo la construcción de la ampliación. En primer lugar, un consorcio de cuatro empresas conformadas por una belga, una española, una panameña y una italiana, llevaron a cabo propuestas basadas en sistemas de controles eléctricos y electrónicos que debían cumplir con las especificaciones de las listas de verificación establecidas para poder cumplir las metas de implementación.

Esto fue soportado por cálculos verificados, luego se presentó en un software el cuál fue comprobado y, por último, se realizaron maquetas que simulaban el sistema hidráulico, puesto que los buques aumentaron de tamaño a raíz de la economía escala quien representa un ahorro significativo para las compañías. Por esta razón pueden llevar más contenedores teniendo una misma cuadrilla. Gracias a ello el país realizó un referéndum donde se tomó la decisión de construir un nuevo Canal para satisfacer la demanda de estos nuevos buques. Asimismo se toman las medidas de prevención frente a las condiciones climáticas, por lo tanto se instalaron sensores de nivel en cada una de las acciones de la cámara y también al nivel del mar en donde se mide el volumen del agua que se va a mover sobre todo por el calado de los buques, ya que la marea en el Océano Pacífico es bajo, entonces si es más grande el calado debe darse un tiempo de espera mientras la marea sube, este tipo de movimientos se dan gracias a la supervisión de los controladores de tráfico marítimo. Las esclusas de Cocolí cuentan con unas defensas para mitigar el impacto del buque en los bordes del canal con el fin de prevenir riesgos y daños físicos que afecten la navegación en la mar.

Según Alvarado: “Cuenta con tres escalas y las locomotoras fueron actualizadas ya que el tamaño de los buques además de ser más anchos, son más altos, por lo cual requieren de una componente de los haladores más alta. Adicionalmente el mantenimiento de estas locomotoras es muy alto por lo tanto se mejoró en diseño y en la relación costo beneficio”. En cuanto a esta información se entiende la importancia del nuevo sistema de esclusaje utilizando buques pequeños llamados remolcadores ya que el antiguo sistema con locomotoras no son óptimas para las grandes embarcaciones debido a que podrían desprenderse de sus rieles al ser amarradas al mismo, los costos con respecto al mantenimiento de las locomotoras es más bajo y eficiente.¹⁵.(Véase la Figura 10).

Figura 10. Esclusas de Cocolí



Fuente. MUDARRA, Jetzabel. Las nuevas esclusas del canal ampliado ya tienen nombre [en línea]. Ciudad de Panamá: Diario Día a Día [Citado 3 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <URL: <http://www.diaadia.com.pa/el-pa%C3%ADs/las-nuevas-esclusas-del-canal-ampliado-ya-tienen-nombre-290319>>

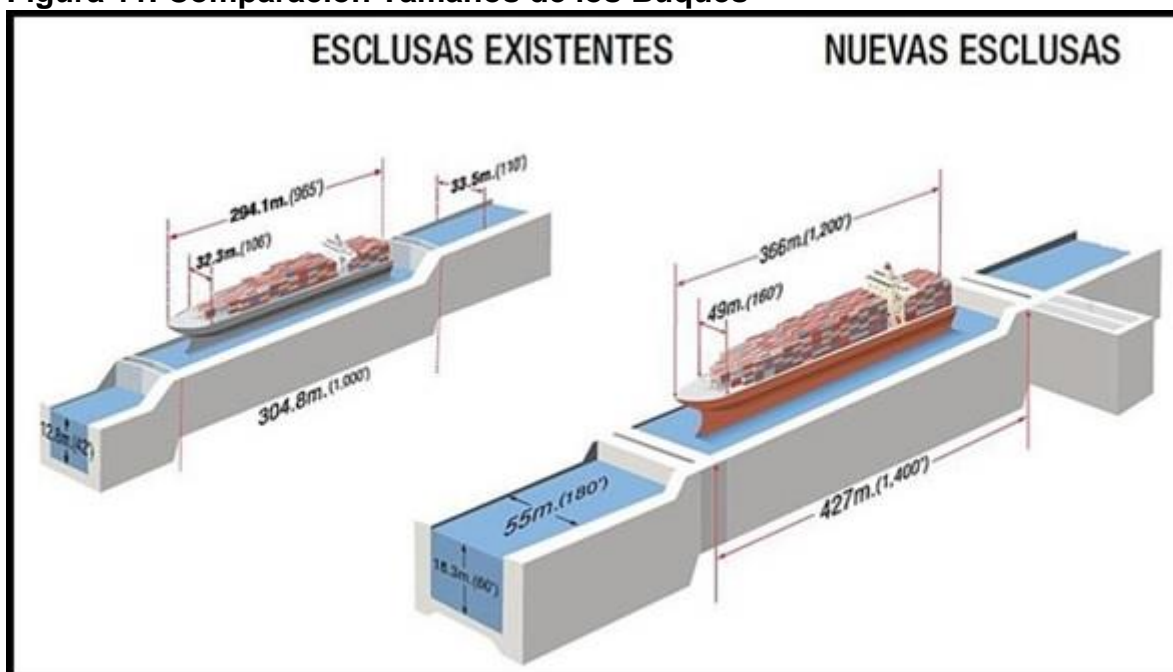
Para poder comprender el cambio y las dimensiones de los buques, se muestra a continuación por medio de la figura 11, la cual indica el cambio en tamaños de las esclusas originales a las nuevas esclusas, las medidas se dan en pies. El canal original posee tres complejos de esclusas: Miraflores tiene dos niveles, Pedro Miguel tiene un nivel en el lado pacífico y las esclusas de Gatún tienen tres niveles en el lado Atlántico.

Cada complejo de las nuevas esclusas posee tres niveles con tinas de reutilización de agua asegurando que el sistema de nivelación de aguas sea sostenible y permita cuidar el medio ambiente protegiendo las mismas.

¹⁵ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p. 2

El tránsito inaugural tuvo lugar el día 26 de junio de 2016, las dimensiones del buque (véase la Figura 11) son de 299.9 m de eslora, 48.2 Mts de manga y con capacidad de hasta 9,472 TEU's. Como dato curioso el buque "Oocl" France fue el buque de mayor capacidad en transitar por las nuevas esclusas el 24 de mayo de 2017. Con una capacidad máxima de 13,926 TEU's, la embarcación tuvo una medida de 366.47 Mts de eslora por 48.23 Mts de manga, el primer crucero en transitar fue el "Disney "Wonder", cruzó el día 20 de abril de 2017. Posee 299.92 Mts de eslora y 106 Mts de manga con capacidad para 2,713 pasajeros. A la fecha hay 18 reservas de buques de pasajeros por el Canal ampliado para la temporada 2017-2018, y se espera que esta cantidad aumente en los próximos meses.¹⁶ Se toma la referencia porque el ingeniero Alvarado explica sobre la diferencia de dimensiones de los buques y el motivo de la necesidad de crear un nuevo canal.

Figura 11. Comparación Tamaños de los Buques



Fuente. LUDENA, Ignacio. Influencia de la próxima inauguración de la ampliación del Canal de Panamá en las rutas transoceánicas del transporte de mercancías [en línea]. Madrid: Escuela de Organización Industrial [citado 1 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.eoi.es/blogs/madeon/page/5/>>

“Los componentes electromecánicos implementados en el nuevo Canal de Panamá cuenta con maquinarias eficientes y confiables, en total son 84 máquinas”¹⁷. Se toma la referencia porque el ingeniero Rafael Alvarado brinda la información en

¹⁶ Ibid., p. 2

¹⁷ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.3

tiempo real sobre las maquinarias vistas durante la visita a las nuevas esclusas. (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Maquinarias de las Nuevas Esclusas

MAQUINARIA	CANTIDAD
Compuertas Rodantes	8
Válvulas de Conductos	36
Válvulas de Alcantarilla	32
Válvulas de Ecualización	8

Fuente. Los Autores

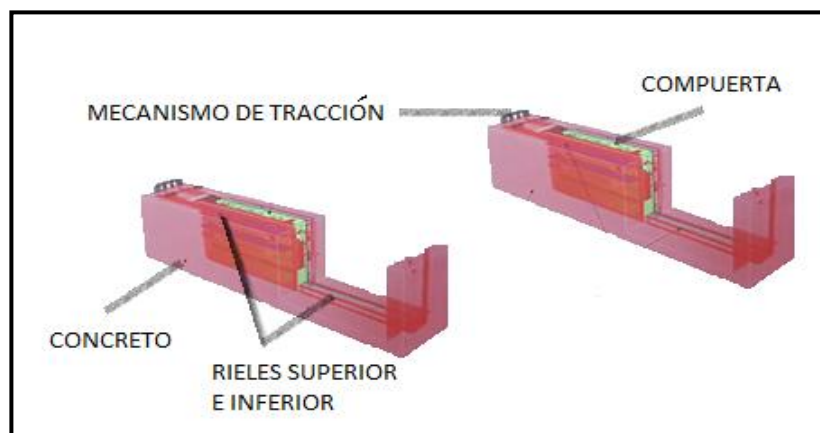
Las compuertas rodantes son la herramienta fundamental para la operación, por esto “es importante saber los datos técnicos de las compuertas instaladas en el año 2016”¹⁸. Dado que el ingeniero Alvarado fue el derrotero de la visita se continúa citando la información que brindo durante el recorrido en el puerto. (Véase la Tabla 2 y la Figura 12).

Tabla 2. Datos Técnicos Compuertas Rodantes

ESCLUSAS	TIPO	CANTIDAD	LARGO/ANCHO/ALTO(mts)	PESO(Ton)
Agua Clara	A	2	57.60 x 8 x 22.30	2,000
	B	4	57.60 x 10 x 30.19	3,100
	D	2	57.60 x 10 x 29.07	2,600
Cocolí	F	2	57.60 x 8 x 22.30	2,100
	C	4	57.60 x 10 x 31.92	3,700
	E	2	57.60 x 10 x 33.04	3,300

Fuente. Los Autores

Figura 12. Componentes Principales de las Compuertas Rodantes



Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. Vol. 1, no. 5. p. 2

¹⁸ Ibid., p. 3

Las válvulas de alcantarilla, son “las válvulas de mayores dimensiones del complejo de esclusas con más de 7 mts de largo, sus dimensiones son: Alto. 0,68 mts, ancho. 5,18mts, largo. 7,12 mts y su peso es de 30,8 ton”¹⁹. Se cita la referencia dado que el ingeniero Alvarado es quien cuenta con la experiencia de haber vivido y estudiado todos los procesos de desarrollo en el nuevo canal de Panamá. (Véase la Figura 13).

Figura 13. Instalación de Válvula de Alcantarilla



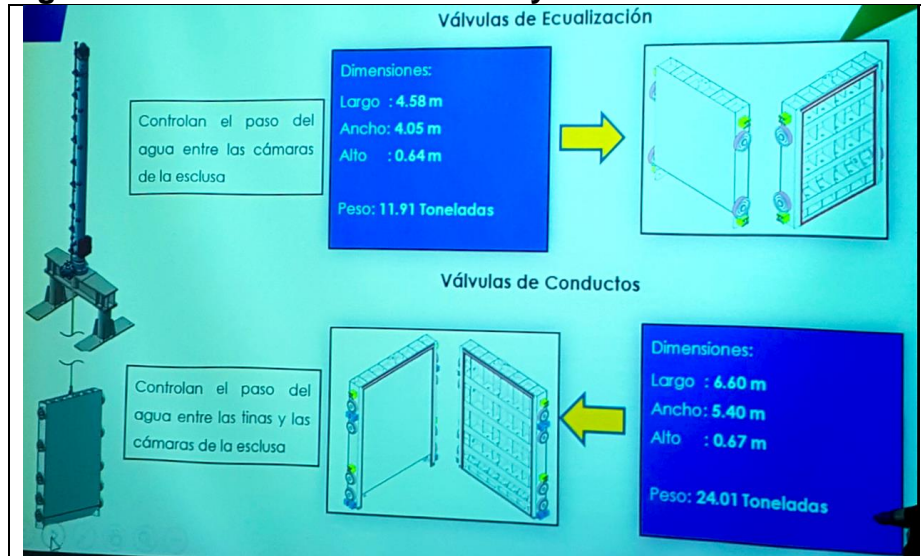
Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. Vol. 1, no. 5. p. 2

“Las válvulas de ecualización controlan el paso del agua entre las cámaras de la esclusa y las válvulas de conductos controlan el paso del agua entre las finas y las cámaras de la esclusa, permitiendo un mejor rendimiento en lo que tiene que ver con el llenado de cada cámara por donde pasa el buque y la retroalimentación con las tinas de reutilización. De allí la importancia de que las válvulas anteriormente mencionadas se encuentren siempre en óptimas condiciones para evitar un mal funcionamiento del proceso y evitar que se presenten tiempos muertos en la actividad de esclusaje de buques.”²⁰. Se toma la referencia porque el ingeniero Alvarado hace énfasis en la importancia de los tiempos de espera que pueden afectar a un Canal, sobre todo el de Panamá que tiene una afluencia de 24 horas. (Véase la Figura 14).

¹⁹ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.4

²⁰ *Ibíd.*, p. 4

Figura 14. Válvulas de Conductos y Ecuilización



Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. Vol. 1, no. 5. p. 4

“Las unidades de potencia hidráulica empleadas cuentan con unas características específicas ya que cada sistema de accionamiento hidráulico consiste de un cilindro hidráulico, líneas de tubería hidráulica con gabinetes eléctrico/electrónicos de control local” ²¹. Se toma la referencia porque en las válvulas de conductos se aprecia la implementación de los gabinetes eléctricos quienes brindan además de eficacia seguridad y protección y formas de controlar su eficiencia. (Véase la Tabla 3).

Tabla 3. Tipos de Motores

TIPOS DE MOTORES	CAPACIDAD (HP)
Válvulas de Alcantarilla	100
Válvulas de Conductos	75
Válvulas de Ecuilización	50

Fuente. Los Autores

²¹ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.5

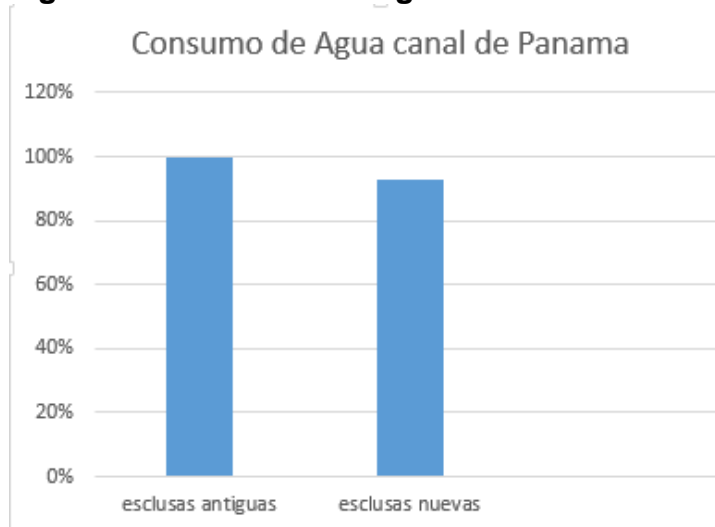
Figura 15. Unidad de Potencia Hidráulica



Fuente. Autores.

Uno de los avances más representativos del sistema operativo en las nuevas esclusas, son “las tinas de reutilización de agua que ahorran el 60% del agua requerida en cada esclusaje. El consumo de agua es del 7% menor en comparación con el sistema de esclusas originales tomando como referencia el consumo del 100% de las esclusas de agua clara.”²² Se toma la referencia porque durante la visita técnica internacional de Panamá se apreció la responsabilidad del tratamiento de la aguas y prevenir los desperdicios y contaminación. (Véase las Figuras 16 y 17).

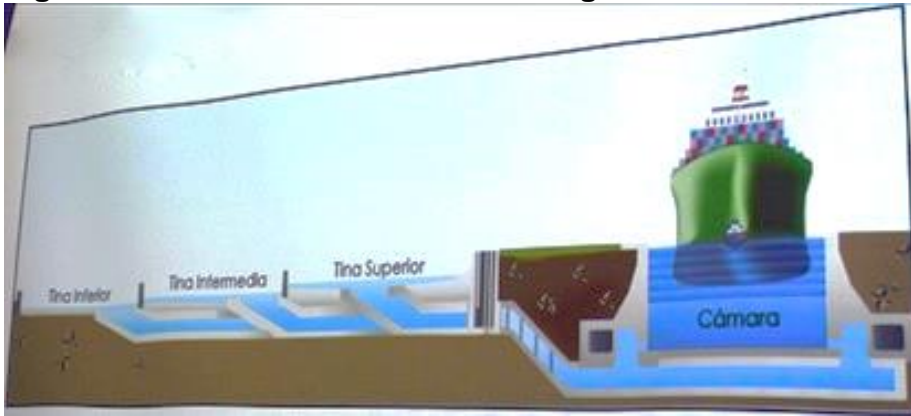
Figura 16. Consumo de Agua



²² ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.6

Fuente. Los Autores

Figura 17. Tinas de Reutilización de Agua



Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p. 4

El tiempo de tránsito en cada complejo de esclusas comprende “entre 2 y 2.5 horas, dependiendo de la operación de las tinas de reutilización”²³. Se toma la referencia porque el rendimiento de las aguas y su tratamiento son prioridad en las nuevas esclusas.

Toda la operación ejecutada se lleva a cabo gracias a las instalaciones eléctricas del canal. La distribución de media tensión está compuesta de la siguiente manera:

- Las esclusas poseen una red en 12 Kv compuesta por dos lazos (norte & sur)
- Las esclusas están provistas de 16 “Switchgears” y 16 transformadores.
- Los transformadores bajan el voltaje de 12 Kv a 0.48 Kv.
- 4.6 Kv voltios para la alimentación de las bombas del “Fire Protection System”²⁴.

²³ Ibid., p. 6

²⁴ Ibid., p. 6

➤ **Distribución de media tensión** (véase la Figura 18)

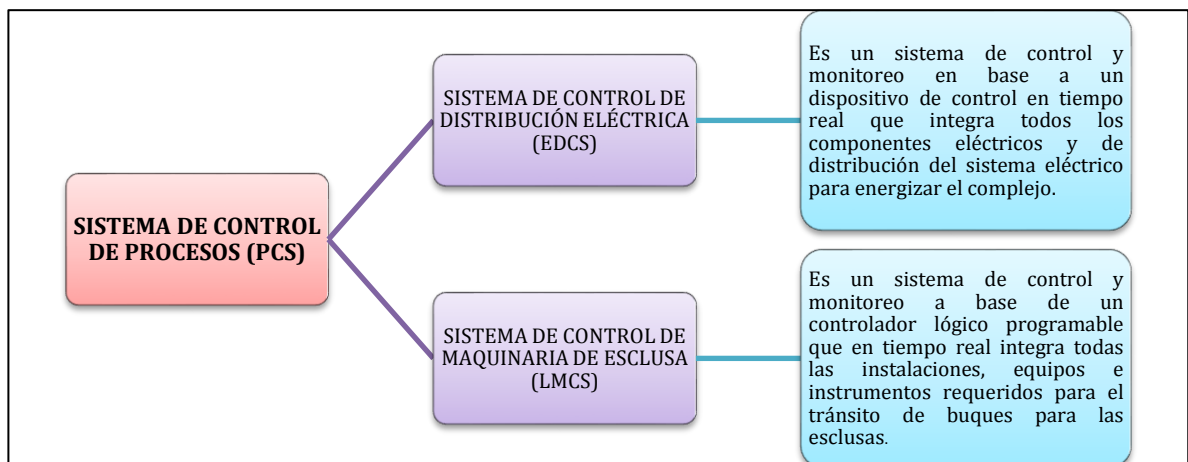
Figura 18. Distribución de Media Tensión



Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p. 4

1.3.1 Sistema de Control de Procesos. Hay dos sistemas de control de procesos implementados (véase la Figura 19).

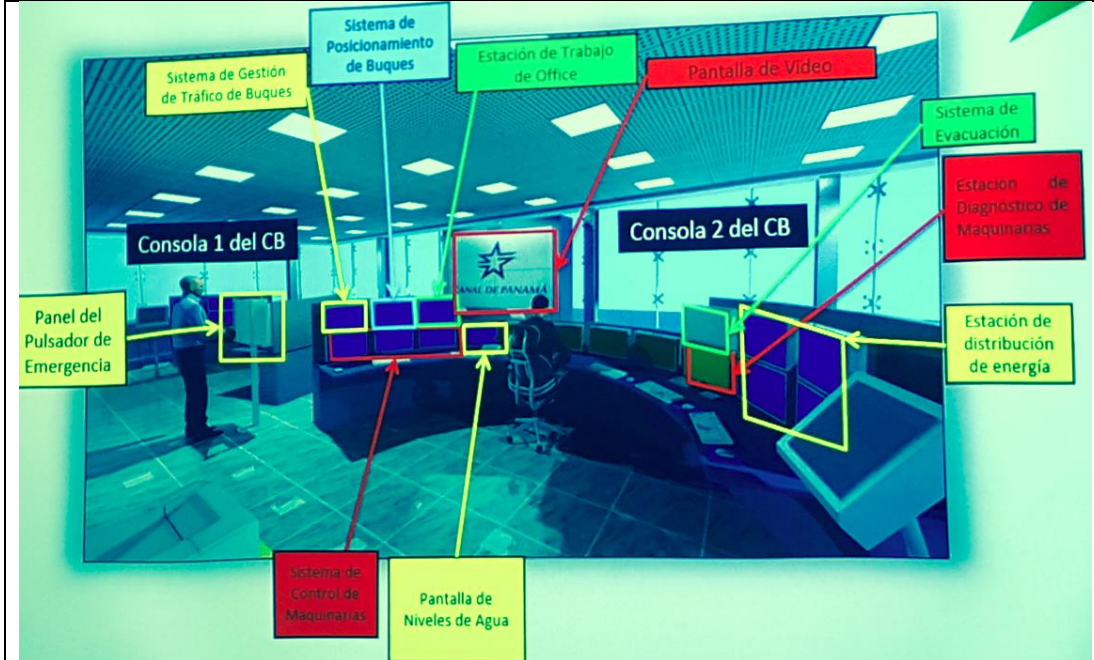
Figura 19. Esquema del Sistema de Control de Procesos



Fuente. Los Autores

Para poder comprender como están ubicados los interfaces del operador en la siguiente imagen se puede ver cómo están distribuidas las consolas, las cámaras y los sistemas de control (véase la Figura 20).

Figura 20. Consolas HMI del Edificio de Control

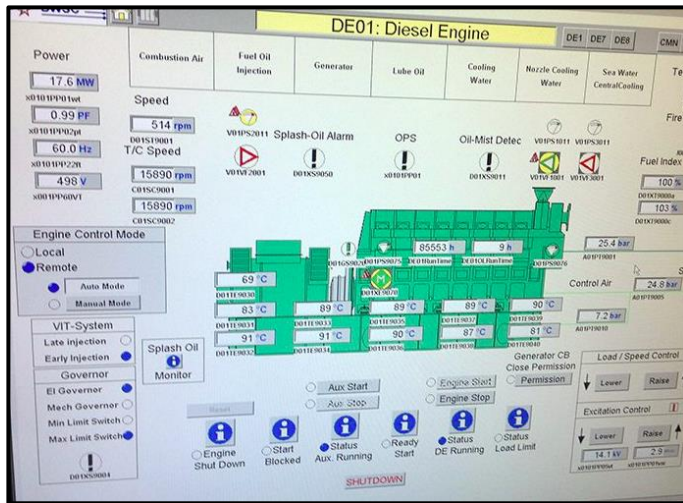


Fuente. ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p. 7

La estación de diagnóstico de Unidad de potencia Hidráulica (HPU's, acrónimo en inglés - Hydraulic Power Units). La terminal local permite que el personal de mantenimiento verifique el estado del equipo almacenado en los gabinetes sin necesidad de abrirlo"²⁵. Se toma la referencia porque los procedimientos de control según el ingeniero Alvarado son los que permiten una óptima comunicación y prevención de toda la obra. (Véase la Figura 21).

²⁵ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.7

Figura 21. Estación de Diagnóstico de HPUs



Fuente. PANAMAHITEK . Una Visita a La Termoeléctrica Miraflores, en el Canal de Panamá [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 1 diciembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://panamahitek.com/una-visita-a-la-termoelectrica-miraflores-en-el-canal-de-panama/>>

1.3.2 Mantenimiento en las nuevas esclusas del Canal de Panamá. Para asegurar el buen estado y comportamiento del Canal de Panamá se planteó un esquema de mantenimiento en las nuevas esclusas el cual consiste en:

- Tercerización del servicio de mantenimiento.
- ACP audita y supervisa la gestión de mantenimiento.
- Pago en función a los resultados.
- Coordinación de los trabajos de mantenimiento con operaciones.

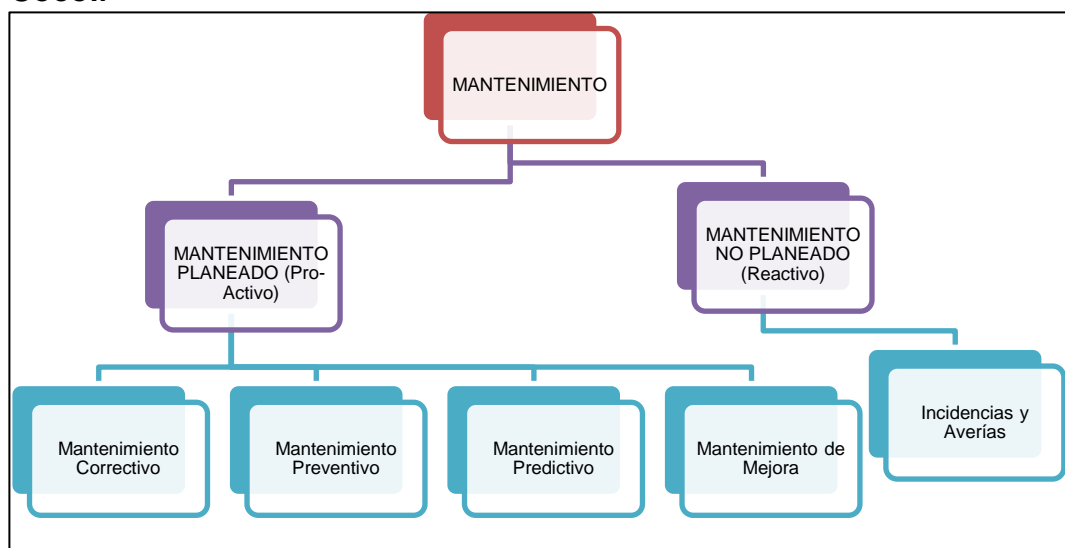
Este planteamiento aporta las siguientes ventajas:

- Enfoque en las actividades de operaciones.
- Garantizar equipos de calidad y eficientes.
- Capacitación del personal.
- Garantías.
- Oportunidad para conocer la planta y proyectarse en el futuro”²⁶.

1.3.2.1 Mantenimiento de Maquinarias. A continuación, se muestra el esquema del mantenimiento de maquinaria en las esclusas de Cocolí (véase la Figura 22).

²⁶ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.8

Figura 22. Esquema del Mantenimiento de Maquinarias en las Esclusas de Cocolí



Fuente. Los Autores

➤ **Mantenimiento Correctivo.** Se realiza una matriz de identificación de las actividades generales donde se especifica el problema detectando las posibles causas y posteriormente se plantea la solución, a continuación, se encuentra un ejemplo de la matriz con un posible problema (véase la Tabla 4).

Tabla 4. Ejemplo de Matriz de Identificación

PROBLEMA DETECTADO	POSIBLES CAUSAS	SOLUCIÓN
Presencia de roturas en la soldadura	Fatiga, sobrecarga	En caso de haber daños en la soldadura necesita ser reparada, reemplazar si hay disponibilidad.

Fuente. Los Autores

➤ **Mantenimiento Preventivo.** Esta actividad pretende determinar las acciones necesarias de un evento no deseado, para ello se determinó el alcance del mismo, los motores principales, los sistemas de freno, la transmisión, ejes de acoplamiento, sistema de tensión, poleas, cables de acero e instrumentación, son las tareas que tuvo en cuenta el equipo de las nuevas esclusas de Cocolí, está determinado que las tareas preventivas recomendadas por su respectivo fabricante cuentan dentro de este alcance.

En cuanto a la lubricación dentro de la documentación general de mantenimiento del exclusivo sistema de compuertas utilizado en el tercer juego de esclusas se “incluyen especificaciones acerca del tipo de aceite, frecuencia de intervenciones, y

recomendaciones generales del fabricante respecto a la lubricación”²⁷. Se toma la referencia porque el ingeniero Alvarado ilustra sobre las inspecciones y mantenimientos de las maquinarias. (Véase la Figura 23).

Figura 23. Inspección Mensual de Variadores de Frecuencia



Fuente. Grupo de Electrónica Aplicada. Imágenes [en línea]. Ciudad de Río Cuarto: La Empresa [citado 1 Diciembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.ing.unrc.edu.ar/grupos/gea/imagenes.htm>>

Figura 24. Engrasadores en Ensamblaje de Poleas



Fuente. Autores.

²⁷ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.10

➤ **Mantenimiento Predictivo.** Busca conocer el desempeño y la condición del equipo en un momento dado, por medio de verificaciones y mediciones de parámetros operativos, para que las actividades de mantenimiento se realicen cuando sea necesario implementar mejoras en calidad, rentabilidad y productividad, para ello se planteó una lista de verificaciones que forman parte del mantenimiento predictivo:

- Verificar la temperatura del aceite.
- Verificar los valores de presión de aceite hidráulico en el sistema.
- Verificación de condición del indicador del filtro (porcentaje de saturación).
- Verificación de la condición de sensores de partículas y dispositivo de humedad.
- Verificación de parámetros eléctricos.
- Análisis de vibraciones.

Como parte del mantenimiento predictivo, se ejecutan pruebas termo gráficas a gabinetes eléctricos y de control

Se realizan análisis vibracionales cada 6 meses en motores principales de compuertas y motores de válvulas, para determinar la condición de rodamientos y estabilidad estructural de los equipos. Los análisis de aceite suministran información que permiten adelantarse en la toma de acciones y buscar la reducción de los costos de operación y mantenimiento a través de la preservación de las máquinas y la extracción de la mejor vida de los lubricantes.

➤ **Mantenimiento de Mejora.** Durante el primer año de operación se han analizado y modificado algunos parámetros de aceleración del sistema de tracción de las compuertas rodantes. Esto con el objetivo de “conseguir el mejor desempeño posible del sistema”²⁸. Se toma la referencia porque el ingeniero Alvarado permite aclarar que el sistema se proyecta a mejorar cada uno de sus procesos.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante muchos años el proceso convencional de remolque de buques se ha realizado por medio de pequeñas embarcaciones las cuales son dirigidas por personal con experiencia para dicha labor. En el canal de Panamá se llevan a cabo estudios actualmente siempre pensando en su ampliación, ya que cada día hay buques mucho más grandes, un ejemplo de ello son los Pospanamax, sin embargo, no se evalúan nuevas alternativas para que su paso por el canal mejore en seguridad, efectividad y mitigación de riesgos.

²⁸ ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5. p.11

En el proceso de remolque “los buques de carga que ingresan al canal de panamá son asistidos por pequeñas embarcaciones las cuales se encargan de halar o empujar el buque con el fin de ubicarlo en el arribo del canal de panamá en las esclusas de agua clara y asistirlo durante el transcurso de esclusado”²⁹. Se toma la referencia porque se necesita complementar sobre la importancia de los remolcadores y su labor en un puerto o canal. En otros canales o puertos marítimos utilizan la misma técnica de enganche de las pequeñas embarcaciones remolcadoras manejando el siguiente proceso realizado por el personal técnico de los remolcadores el cual es enganchar los buques a estas embarcaciones por medio de sogas sujetadas a la proa y popa de este y transportarlo durante todo su paso por el canal de panamá o puerto marítimo.

De igual manera en cada proceso de esclusado “se tiene que atar a soportes a lo largo del canal con el fin de evitar el volcamiento de este mientras el nivel de agua de la esclusa cumple con lo requerido”³⁰, se toma la referencia porque es importante saber que un buque de carga está expuesto a un volcamiento en caso de no ser asistido, debido a que este proceso pone en riesgo las embarcaciones, su carga, y seguridad de la estructura física de los canales o puertos marítimos, así como también la seguridad del personal técnico que asisten estas labores.

En este trabajo de grado se propone un modelo virtual interactivo con el fin de que este proceso sea controlado con ayuda de una plataforma robótica remolcadora, que se ajuste al chasis del buque con el fin de conducirlo y asistirlo durante todo el proceso desde el arribo del canal hasta el final de este.

El sistema de control permite que la plataforma acceda desde la parte inferior del buque y se ajuste al chasis de éste en el calado permitiendo adherirse con variabilidad a cualquier embarcación sea Panamax, Pospanamax y Neopanamax, Buques de carga comunes. Con el fin de modelar un remolque de buques más robusto el sistema de control de la plataforma se adaptará a las condiciones del comportamiento marítimo dentro del canal, permitirá que ésta asista el barco de manera más segura y controlada con sensores virtuales que la monitorean en tiempo real para lograr corregir posiciones antes de entrar al canal y durante el esclusado o en el paso por puertos en los que requiera el remolque del buque. Presentada la anterior modelación de la plataforma se busca que los sistemas de control físicos diseñados den una maniobrabilidad del buque con el fin de agilizar este proceso y usando el campo de la robótica y la realidad virtual.

El modelo virtual de esta plataforma permite realizar pruebas con diferentes sistemas de control los cuales se conectarán al software, haciendo de este un proyecto práctico para la enseñanza de sistemas de control, como medio remoto y

²⁹ AMERICA MIA. ¿Cómo funciona el nuevo canal de Panamá? [en línea]. Bogotá: Youtube [citado 15 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.youtube.com/watch?v=Pcw0TochSnk>>

³⁰ AMERICA MIA. ¿Cómo funciona el nuevo canal de Panamá? [en línea]. Bogotá: Youtube [citado 15 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.youtube.com/watch?v=Pcw0TochSnk>>

virtual en la cual se pueden probar los modelos diseñados y funcionalidad con condiciones marítimas emuladas.

¿Podría sugerir usted alguna alternativa para desarrollar un entorno de realidad virtual que permita modelar prototipos robóticos para la innovación del concepto de maquinaria remolcadora de buques a vistas de interactuar con sistemas de control externos diseñados para esta, el cual genere un ambiente de prácticas académicas?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General. Desarrollar un entorno virtual del modelo de la plataforma robótica remolcadora para el proceso de transporte de buques integrando sistemas de control físicos.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Recopilar información en la visita internacional que permita identificar los procesos de transportes y remolque de buques.
- Diseñar entorno de realidad virtual de la plataforma robótica y entornos marítimos.
- Desarrollar y simular sistema de control físico para el modelo de plataforma robótica.
- Validar emulación de realidad virtual en UNITY del sistema naval con diferentes entornos ambientales e interacción con el sistema de control físico de la plataforma.

1.6 JUSTIFICACION

Este trabajo de grado tiene como fin el diseño de un entorno en realidad virtual para la interacción de un sistema de control físico realizado para controlar el modelo de una plataforma robótica remolcadora que asista las embarcaciones en canales y puertos marítimos, proceso controlado a miras de realizarlo de una manera más segura dado las variabilidades del comportamiento del mar. El diseño de emulación permitirá que se simule una plataforma robótica remolcadora dentro de un entorno marítimo, conectando diferentes sistemas de control que permitan el manejo del modelo de la plataforma debido al comportamiento de esta en el mar.

El desarrollo de este documento se centra en ilustrar que para cada objetivo del mismo se hace interacción entre las diferentes disciplinas de la ingeniería como es la Ingeniería electrónica y la Ingeniería de control. Hoy en día “las herramientas virtuales son una necesidad para emular entornos los cuales permitan que el estudiante no requiera de un equipo de pruebas físico, para la elaboración de controles electrónicos, se genera este entorno de realidad virtual el cual ofrece una didáctica de aprendizaje, diseñando bajo diferentes escenarios y estrategias”³¹.

La forma tradicional de aprendizaje “ha generado cambios adaptados a las TIC en Colombia y el mundo”³².

PBL (Acrónimo en Inglés - Problem-Based Learning) propone un sistema de enseñanza el cual permite que “herramientas como la trabajada en este proyecto”³³,

Sea una innovación para el desarrollo de proyectos futuros en un aula de clase e incluso de manera remota logrando trasladar entornos virtuales, para “diseño y pruebas de prototipos robóticos creando una HRI “Interface Human Robot” para la adquisición de conocimientos y habilidades”³⁴.

³¹ BAUTISTA, Guillermo; BORGES, Federico y FORÉS, Ana. Didáctica Universitaria en Entornos Virtuales de enseñanza – aprendizaje [en línea]. Bogotá: Google Books [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=DJGxngD1I90C&oi=fnd&pg=PA11&dq=herramientas+virtuales+como+aprendizaje+colombia&ots=DpJ9l-ymQ6&sig=0dFaMiyfcqylj1_-43JJwwacSZc#v=onepage&q&f=true>

³² ZEA RESTREPO, Claudia. Uso de medios y tecnologías de Información y comunicación en educación superior [en línea]. Bogotá: Ministerio de Educación [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/articles-139716_archivo_pdf18.pdf>

SALINAS, Jesús. Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria [en Línea]. Cataluña: Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC). [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.uoc.edu/rusc/dt/esp/salinas1104.pdf>>.

³³ BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION (BIE). ¿Qué es el aprendizaje basado en proyectos PBL? [en línea]. California: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://www.bie.org/about/what_pbl>

³⁴ BARTNECK, Christoph. The Robot engine-making the unity 3D game engine work for HRI [en línea]. Japan: IEEXPLORE [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?reload=true&newsearch=true&queryText=The%20Robot%20Engine%20-%20Making%20The%20Unity%203D%20%20Game%20Engine%20Work%20For%20HRI>>

1.7 DELIMITACION

1.7.1 Alcance. El alcance será el siguiente:

- Sistemas de control que permita la interacción con el Modelo virtual bajo el comportamiento de buques en entornos marítimos y condiciones climáticas.
- Software emulador de entornos ambientales marítimos para diseños dinámicos de control de la plataforma submarina.

El desarrollo del proyecto se centra en el emulador de realidad virtual bajo el software UNITY 3D y la interacción con el sistema de control externo, a fin de simular entornos navales que permita la conexión de diferentes sistemas de control para la plataforma robótica, verificando la funcionalidad del control conectado a este medio virtual.

1.7.2 Limitaciones. Este trabajo de grado no realizara variedad de modelos de realidad virtual, a vista de proyectarse a futuro como un conjunto de prácticas innovadoras virtuales que permitan la aplicación de (PBL) practica de aprendizaje por medio de proyectos para la asignatura de control de pregrado³⁵.

1.8 MARCO REFERENCIAL

1.8.1 Marco Teórico.

1.8.1.1 Simulación Numérica. Se sabe que a raíz de la guerra fría muchos avances surgieron a raíz de las estrategias utilizadas en la misma, “una de ellas fue la simulación a nivel militar quien fue transformando soluciones logarítmicas a problemas de alcance, transporte y capacidad”³⁶.

A principios de la década de los sesenta comenzaron a surgir los programas de simulación en el mercado, estos sistemas se utilizaron para dar solución a problemas civiles, algunos de los más conocidos son el GPSS (General Purpose System Simulator) de IBM y el SIMSCRIPT. Actualmente son utilizados para el análisis y fabricación de procesos, logística, transporte, comunicaciones y servicios, este sistema de acontecimientos discretos permite dar soluciones concretas teniendo en cuenta la capacidad de modelar aspectos aleatorios respecto a un sistema. Fue una de las herramientas como base de la construcción de la terminal de Barcelona donde se simularon tanto espacios como movimientos reales de los pasajeros en situaciones normales y permitió realizar el levantamiento del plan de evacuación en

³⁵BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION (BIE). ¿Qué es el aprendizaje basado en proyectos PBL? [en línea]. California: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://www.bie.org/about/what_pbl>

³⁶ MONTERO AVENDAÑO, Ana Karina. Simulación de procesos empresariales [en Línea]. Barranquilla: Word press [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/a-historia-de-la-simulacion/>>

situaciones de riesgo. La rebelión informática en los años ochenta tiene un impacto importante en la simulación por ordenador. El uso de simuladores se generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería, por ejemplo la predicción del tiempo y el entrenamiento de pilotos³⁷.

El comportamiento de la simulación en los últimos años ha sido de gran cobertura haciendo presencia en la vida familiar gracias a sus productos de software actualizados quienes cuentan con “gráficos de excelente calidad, bases de datos y computación intensiva permitiendo así cada día más una industria con amplio alcance y una herramienta que se adapta a cada cambio”³⁸.

El modelo matemático conforma una abstracción numérica (matemática), de las ecuaciones necesarias para el estudio de fenómenos, mientras que una simulación numérica es la representación de cada momento de un fenómeno o proceso que se va a simular, mediante estas simulaciones se estudian procesos de ingeniería, económicos, biológicos y físicos.

La simulación numérica está constituida por un muy bien fomentado campo de investigación en donde es necesario el requerimiento de especialistas en métodos numéricos, matemáticos e ingenieros, etc. Algunas aplicaciones de simulación numérica son: “en el diseño de experimentos, la utilización en la preparación y/o formulación de sistemas complejos, el empleo en la complementación de pruebas de laboratorio, la utilización en el mejoramiento de los procesos, el uso para la predicción, la incrementación en el entendimiento o el conocimiento del problema en estudio, entre otros”³⁹.

Podemos encontrar como elementos más habituales que se adoptan para trabajar las simulaciones numéricas, como los que se mencionan a continuación:

➤Lenguajes de alto nivel: Fortrán, C, C++, Pascal, Basic, etc.

1.8.1.2 Remolcadores. En las operaciones marítimas se usan embarcaciones de pequeñas dimensiones, con gran potencia con el fin de apoyar la maniobra de otros buques por medio del empuje o halado de estos con el fin de trasladarlos en circunstancias donde su motor no es útil como lo son puertos o canales.

³⁷ MONTERO AVENDAÑO, Ana Karina. Simulación de procesos empresariales [en Línea]. Barranquilla: Word press [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/a-historia-de-la-simulacion/>>

³⁸ MONTERO AVENDAÑO, Ana Karina. Simulación de procesos empresariales [en Línea]. Barranquilla: Word press [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/a-historia-de-la-simulacion/>>

³⁹ SANDOVAL SOLIS, María; JUÁREZ VALENCIA, Lorenzo y FLORES, Ciro. Simulación de modelos en ecuaciones diferenciales ordinarias [en línea]. Monterrey: Coloquio del Departamento de Matemáticas [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hect/material_didactico/notas-2ColoquioOpt.pdf>

Los remolcadores tienen funciones importantes como lo son:

- Asistir al buque en las maniobras de atraque y desatraque
- Ayudar al buque en el reviro en un espacio limitado.
- Dar el apoyo necesario para contrarrestar la acción del viento, del oleaje o de las corrientes en las situaciones en las que el buque navega a baja velocidad, en las que la eficacia del motor propulsor y del timón es baja.
- Ayudar a parar al buque.
- Remolcar, empujar o auxiliar a un buque que se ha quedado sin medios de propulsión o gobierno.
- Transportar artefactos flotantes de un lugar a otro.
- Dar escolta, en previsión de pérdida de gobierno, a buques con cargas peligrosas en zonas de alto riesgo.

“Es indispensable tener presente la importancia sobre los tipos de remolcadores y las especificaciones que este debe tener (dimensiones y peso) según el tipo de asistencia a realizar teniendo en cuenta el tamaño del barco a remolcar, por ejemplo: asistencia a grandes barcos hacia los muelles, control de emergencias a buques incendiados en el mar, etc”.⁴⁰.

De igual forma encontramos diferentes tipos de remolques utilizados en una variabilidad de apoyos dentro del mar.

➤**Remolcador de puerto.** Empleado para el tráfico interno de los puertos o canales se destaca por “tener un motor con una potencia entre 394.528 a 2958.96 HP, y una tracción a punto fijo de 6 a 30 toneladas, la eslora de este tipo de embarcaciones varía entre 20 a 30 mts, y su calado oscila entre 3 a 4,5 mts con una velocidad máxima de 13 nudos”⁴¹. Estas embarcaciones se dedican a operar de manera local dentro del puerto por lo tanto puede realizar operaciones de puerto, salvamento y altura.

➤**Remolcador de puerto y altura.** Las operaciones de este remolcador son para cargas mucho mayores maneja el traslado de grandes buques en los puertos al igual que en la parte de altura maneja el traslado de supe tanques y mono boyas,

⁴⁰ GARCÍA, Roberto. Remolcadores [en línea]. Bogotá: Ingeniero Marino [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ingenieromarinero.com/9-remolcadores/>>

⁴¹ PORRÚA LARA, Manuel. Anteproyecto de remolcador de altura de 35 T.P.F. (Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Técnica Naval) [en línea]. Cádiz: Universidad de Cádiz [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7247/b34403851.pdf?sequence=7>>

se destaca por “tener un motor con una potencia entre 1479.48 a 4931.6 HP, y una tracción a punto fijo de 20 a 55 toneladas, la eslora de este tipo de embarcaciones varía entre 25 a 40 mts”⁴².

Por otro lado, tenemos las estructuras físicas navales llamadas canales en este caso se profundiza sobre el canal de Panamá dado que sobre este se analizará el comportamiento de los procesos de los remolques y se modelará la plataforma robótica remolcadora (véase la Figura 25).

Figura 25. Remolcador



Fuente. Autores.

1.8.1.3 Canales.

➤ **Canal interoceánico.** Un canal interoceánico es un istmo de agua el cual conecta dos océanos tener esta ventaja geográfica en el territorio favorece en el desarrollo comercial y económico del país. Uno de estos canales es el canal de Panamá “ubicado a fronteras de Colombia y Costa Rica, funciona mediante un sistemas de esclusas”⁴³, la cual tiene aproximadamente 80 km de largo comunicando los océanos Atlántico y Pacífico en uno de los puntos más angostos del istmo de Panamá y del continente americano permitiendo el paso de los buques de un océano a otro de manera rápida y controlada, logrando de esta manera la conexión entre ambos océanos. Aparte de sus redes hidrográficas es un sistema de esclusas obra propiamente del canal de Panamá las cuales son controladas por sistemas electrónicos que consiguen elevar el buque al nivel del mar mientras pasa las

⁴² PORRÚA LARA, Manuel. Anteproyecto de remolcador de altura de 35 T.P.F. (Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Técnica Naval) [en línea]. Cádiz: Universidad de Cádiz [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7247/b34403851.pdf?sequence=7>>

⁴³ MI CANAL DE PANAMÁ. Sobre el canal [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/>>

deformidades de la cartografía terrestre, en la (Figura 26) se ilustra el último juego de esclusas del canal.

Figura 26. Esclusas de Agua Clara del Canal de Panamá



Fuente. REPORTEROS ASOCIADOS. Inauguración de canal ampliado de Panamá será este domingo [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.reporterosasociados.com.co/2016/06/inauguracion-de-canal-ampliado-de-panama-sera-este-domingo/>>

➤**Esclusas.** Las esclusas son obras hidráulicas realizadas especialmente para la detención de niveles concentrados de agua en canales navales, a vista de elevar o descender los navíos que se encuentran en ella, su diseño varía de acuerdo a las características del tamaño del canal, el caudal, el peso del agua que deben soportar entre otras, para evitar de esta manera contratiempos y accidentes en el paso de los buques a través del mismo.

➤**Realidad virtual.** Este término se refiere al concepto de imágenes en tercera dimensión creadas por un ordenador el cual hace posible la interacción entre una persona y un entorno simulado semejante a la realidad. Para lograr esta experiencia se supone la existencia de un sistema electrónico complejo el cual proyecta escenarios visuales en 3D, por medio de la emisión y recepción de señales portadoras de información sobre la actuación de la persona en el entorno simulado, gracias a este sistema el usuario puede apreciar y sentir sensaciones semejantes a la realidad pero en un mundo virtual.⁴⁴

Los equipos de realidad virtual emplean mecanismos interactivos como cascos y sistemas mecánicos que guían la dirección de vista del objeto teniendo un entorno tridimensional en la cual se sumerge en un mundo virtual como se ilustra en la imagen del modelo de simulación transas (véase la Figura 27).

⁴⁴ HILERA, José R. Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza a través de internet [en línea]. Madrid: Universidad de Alcalá [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://pendientedemigracion.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/num8/hilera-oton.html>>

Figura 27. Sistemas de Realidad Virtual TRANSAS ©



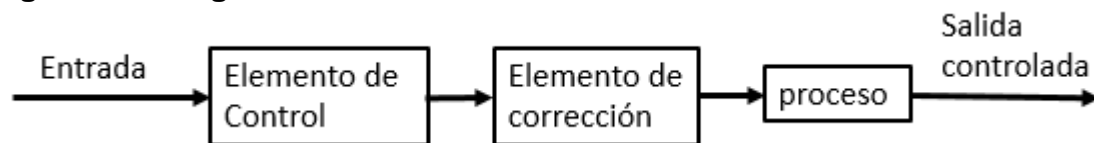
Fuente. TRANSAS. Soluciones de navegación e integración a bordo [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.transas.com/products/navigation>>

➤ **Sistemas de control.** Un sistema de control es un diseño de diferentes dispositivos, encargados de regular el comportamiento de un hardware, con el fin de mitigar las probabilidades de fallo y controlar cada salida del dispositivo, en el control se modelan los sistemas físicos con el fin de diseñar el control con comportamientos electrónicos.

➤ **Sistema lazo abierto.** Los sistemas de lazo abierto son “aquellos dispositivos de control en los cuales las entradas del mismo no son afectadas o no tienen modificaciones por valores en las salidas del sistema, la funcionalidad de este tipo de control se basa en la calibración del controlador previo para obtener una exactitud a su salida”⁴⁵.

A continuación, se puede observar el diagrama de sistema de control en lazo abierto (véase la Figura 28).

Figura 28. Diagrama de Sistema de Control en Lazo Abierto



Fuente. Autores.

➤ **Sistema lazo cerrado.** El diseño de este tipo de controladores se caracteriza por la retroalimentación de las salidas del sistema con el fin de reevaluar la señal de

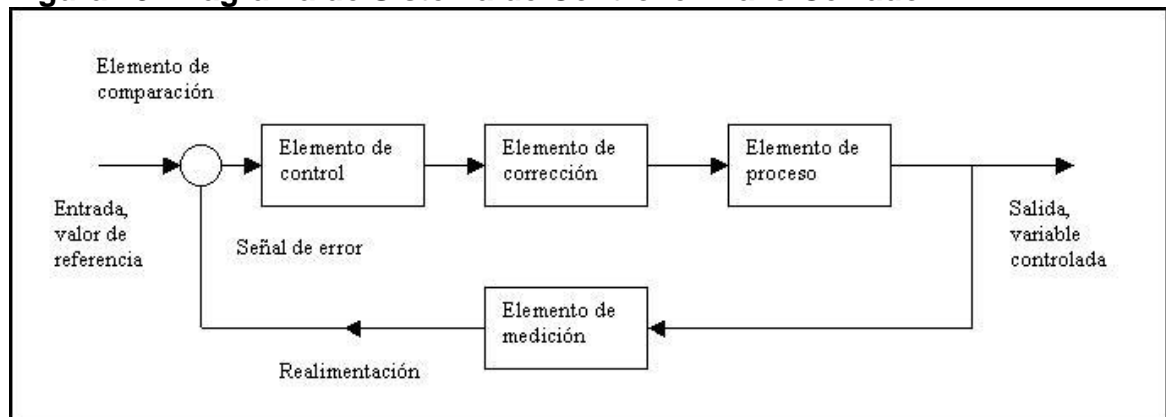
⁴⁵ SALVETTI, Diego. Sistemas de Control: Lazo abierto/cerrado [en línea]. Bogotá: Escuela de Educación Técnica [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://eet602ei.blogspot.com.co/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html>>

salida y obtener en la salida un valor conveniente utilizado para la reducción del error dentro de los sistemas de control.

Elementos básicos:

- Elemento de comparación: compara el valor medido de lo que se obtiene (salida) con el valor que se requiere o de referencia de la variable a controlar, generando una señal de error que indica la diferencia entre el valor requerido y el obtenido en la salida.
- Elemento de control: decide que acción emplear en el momento de recepcionar una señal de error.
- Elemento de corrección: es utilizado para generar un cambio en el proceso después de eliminado el error.
- Elemento de proceso: es el sistema en donde se va a realizar el control de la variable.
- Elemento de medición: para determinar si existe error o no, este elemento genera una señal la cual va relacionada con la condición de la variable a controlar, proporcionando una señal de realimentación al elemento de comparación⁴⁶ (véase la Figura 29).

Figura 29. Diagrama de Sistema de Control en Lazo Cerrado



Fuente. SALVETTI, Diego. Sistemas de Control: Lazo abierto/cerrado [en línea]. Bogotá: Escuela de Educación Técnica [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://eet602ei.blogspot.com.co/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abierto-cerrado.html>>

1.8.2. Marco Conceptual.

Con el crecimiento de la tecnología y la accesibilidad del internet, nace la necesidad de digitalizar los componentes físicos y entornos de la realidad con el fin de realizar más ameno este acceso al mundo digital, con ello podemos conocer el mundo con

⁴⁶ SALVETTI, Diego. Sistemas de Control: Lazo abierto/cerrado [en línea]. Bogotá: Escuela de Educación Técnica [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://eet602ei.blogspot.com.co/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abierto-cerrado.html>>

un simple ordenador por medio de internet, digitalizando imágenes generando objetos en 3D los cuales podemos experimentar una sensación de realidad digitalizada, los términos siguientes nos ayudaran a comprender de mejor manera el lenguaje dentro de este campo tecnológico.

Virtualización: es el proceso y acción de generar una presentación virtual mas no física en donde no solo se cumple con objetos reales, también tiene campo en servidores, aplicaciones, componentes de almacenamiento que se definen como unidades generadas en segundo plano de procesamiento.

Durante muchos años el proceso convencional de remolque de buques se ha realizado por medio de pequeñas embarcaciones las cuales son dirigidas por personal con experiencia para dicha labor, en el área de la ingeniería naval no han intervenido robóticamente este proceso con el fin de que la Maniobrabilidad y seguridad en los procesos de remolque de buques use otro concepto modelo el cual este proyecto integra.

Dado el crecimiento y desarrollo de la tecnología, la electrónica se ha enfocado en la optimización de procesos con la necesidad de controlar sistemas cada vez más robustos a vista de mantener una estabilidad en ellos, los sistemas de control por medio de modelaciones matemáticas del entorno físico nos permiten controlar variables dentro de estos modelos con el fin de determinar entradas y salidas de una manera estable logrando gobernar el hardware y comportamiento de este.

La realidad virtual crece dentro del desarrollo de las TIC como una herramienta digital para el diseño de modelos físicos tanto en el campo de la electrónica como en aplicaciones para diferentes ramas del conocimiento, se basa en la implementación virtual de entornos simulados los cuales proporcionan comportamientos realistas bajo software y comportamientos interpretados de forma electrónica, eliminando la necesidad de tener medios físicos para el aprendizaje.

Unity 3D: Es un motor de juegos en realidad virtual multiplataforma líder en la industria el cual permite conectar diferentes dispositivos con gran facilidad en una gama de plataformas móviles, creando sistemas físicos en virtuales con el fin de emular comportamientos reales dentro de este⁴⁷.

Objetos de juego: En la creación de los objetos animados del entorno, se tiene en cuenta que no solo poseen características de diseño y modelado, si no también van arraigadas a movimientos y comportamientos específicos los cuales los identifican, dando animación y realismo a estos, se utilizan librerías y bloques de código, en movimientos simples y comportamientos complejos ⁴⁸.

⁴⁷ Unity [En línea]. Disponible en <https://unity3d.com/es/learn>

⁴⁸Game objects. Unity [En línea]. Disponible en <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/GameObjects.html>.

Visual Studio C# – unity 3D – scripts.

Para poder diseñar las características de animación y comportamiento de los objetos, es necesario programar un grupo de scripts bajo el programa Visual Studio C# utilizando su compilador como verificación del código, Unity 3D nos permite importar o exportar estos scripts y diseñar entornos personalizados bajo este editor programable. Basados en los scripting Unity 3D los define como:

“La programación de scripts es un ingrediente esencial en todos los juegos. Incluso el juego más simple necesitará scripts para responder a entradas del jugador y asegurar que los eventos del juego se ejecutan en el momento adecuado. Además, los scripts pueden ser usados para crear efectos gráficos, controlar el comportamiento físico de objetos o incluso implementar un sistema de inteligencia artificial para los personajes del juego. La programación de scripts es una habilidad que toma tiempo y esfuerzo para aprender; la intención de esta sección no es enseñarle en cómo escribir código script desde 0 pero más bien explicarle los conceptos principales que aplican al scripting en Unity 3D”⁴⁹.

1.9 METODOLOGÍA

Este trabajo de grado se desarrolla en 3 fases que se describen a continuación.

1.9.1 Fase analítica. Se realiza la recopilación de la información por medio de la visita técnica internacional realizada al canal de panamá y las conferencias realizadas por los ingenieros a cargo del manejo de los sistemas del canal, para identificar información importante y primordial en estas. Fue necesario un estudio previo antes de la visita con el fin de tener un campo de información base a miras de solucionar dudas al momento de realizar la visita técnica internacional. Como función final de esta fase se realiza una clasificación de los procesos para remolques marítimos de buques y los fenómenos naturales navales que pueden afectarlos a fin de aportar esto para la siguiente fase y generar el prototipo de la plataforma remolcadora submarina.

1.9.2 Fase desarrollo. Con la información recopilada y seleccionada se realiza la caracterización de los procesos de remolque en canales y puertos, se analiza la influencia de los comportamientos marítimos acorde a los fenómenos naturales presentes en ellos, se realiza el cálculo, simulación y ensamble del sistema de control para la plataforma remolcadora. Dada la entrada del sistema y las variables de control definidas para el diseño, el sistema de control manipula la plataforma remolcadora que es emulada por medio de UNITY 3D, un software de realidad virtual que permite simular los comportamientos marítimos y estructuras como canales y puertos.

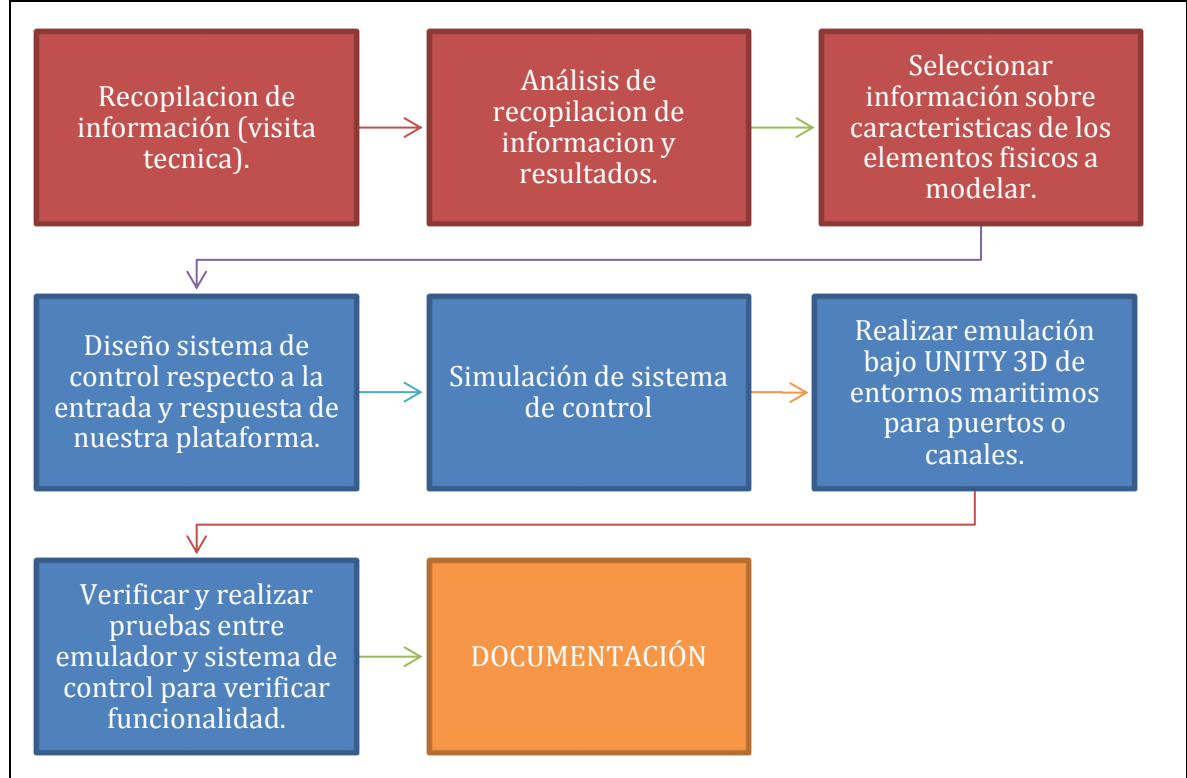
⁴⁹Scripting. Unity [En línea]. Disponible en <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/ScriptingSection.html>

1.9.3 Fase de pruebas. Con el entorno de realidad virtual realizado en UNITY 3D del modelo de la plataforma robótica remolcadora y el ambiente marítimo y basados en la programación de la variabilidad de comportamientos del mismo se llevan a cabo pruebas del diseño del sistema de control, a miras de realizar la HRI “Human Robot Interaction” entre el sistema de control y panel de comando externo, con UNITY 3D y poder realizar pruebas del comportamiento de la plataforma simulando las condiciones reales de trabajo.

1.10 DISEÑO METODOLOGICO

El siguiente flujograma muestra las diferentes tareas desarrolladas en este proyecto (véase la Figura 30).

Figura 30. Implementación del Sistema



Fuente. Los Autores

2. DESCRIPCION LOS COMPONENTES

2.1 GENERAL: HERRAMIENTAS DEL PROTOTIPO

- Plataforma Unity 3D (software libre)
- Diseños 3D para entorno gráfico en Sketchup
- Arduino NANO ®
- Cable USB 2.0 para conexión Arduino Nano ®-ordenador
- Joystick (x2)
- Potenciómetros (x4)

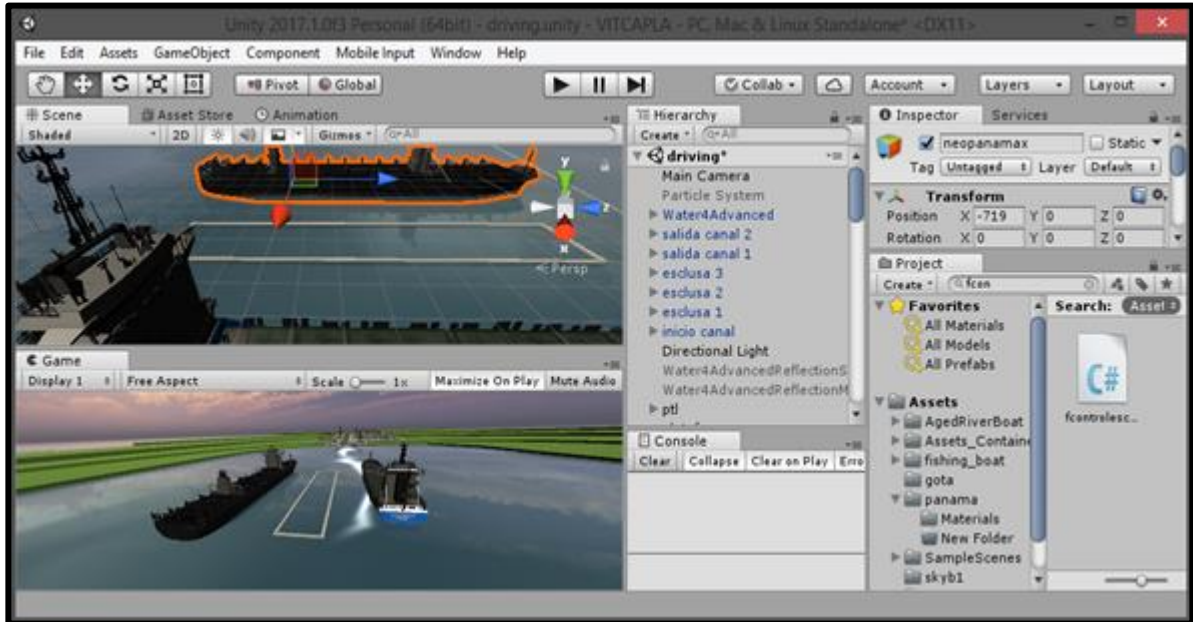
2.1.1 Plataforma Unity 3D. El proceso de simulación del entorno naval se da inicio bajo un motor de videojuego multiplataforma llamado Unity 3D, creado por la empresa Unity 3D Technologies ® que hoy en día permite una accesibilidad con los dispositivos en el mercado y olvidando la complejidad de diseñar un juego de manera robusta.

A partir de una comparación entre motores de videojuegos en el mercado se seleccionó aquella con código abierto dado a sus bajos costos y funcionalidades, al igual por permitir una muy buena definición y conectividad con el desarrollo interno de la simulación. Este software se utiliza con el fin de simular un entorno naval virtual, con el cual se ilustra el prototipo de una plataforma que será parte del sistema de remolque de buques de carga dentro de los canales o puertos a nivel mundial, se simula el cómo funcionará el sistema de plataforma.

Dentro del Unity 3D se realizan un conjunto de SCRIPTS, los cuales son bloques de clases dentro de una programación orientada a objetos. Estos permiten la interacción entre cada uno de los GameObject en 3D representados en la simulación.

La dirección de programación dentro del simulador comienza en cada uno de los SCRIPTS de los objetos, permitiendo que estos ejecuten el código diseñado en sus respectivas clases (véase la Figura 31).

Figura 31. Entorno de Motor de Videojuegos



Fuente. Los Autores.

En la (figura 31) se puede ilustrar el entorno de UNITY 3D. A continuación, se describen las diferentes partes de este entorno:

- Hierarchy: panel donde se encuentran cada Gameobject 3D - 2D de la simulación.
- Inspector: panel donde se encuentran todos los componentes que le dan comportamiento al Gameobject 3D en el caso de la (figura 31) se observan los SCRIPTS que controlan el objeto.
- Project: panel donde se encuentra todos los “assets” y “SCRIPTS” y objetos importables para la simulación.
- #Scene: ventana gráfica donde ilustra el campo de simulación, o campo de trabajo 3D.
- Game: ventana gráfica que presenta la vista de la cámara principal y ser la ventana donde se ejecutara el juego.

2.1.2 Arduino Nano. En el desarrollo de esta simulación se decide usar como microcontrolador programable Arduino Nano ®, dado que es una plataforma de desarrollo de hardware robusta, actualmente en el mercado hay diferentes plataformas como lo son Raspberry Pi ®, MSP430 pero aquellas utilizadas para procesos con una gran cantidad de procesamiento.

Por lo tanto, se establece que la mejor opción en eficiencia de recursos y aprovechamiento de los mismos, se establece que Arduino nano ® uno de los más pequeños de sus productos es la mejor opción para el controlador físico externo de la simulación.

2.1.3 JOYSTICK. El sistema de control físico realizado para la simulación está compuesto por un controlador de video juegos, se compone de dos joysticks y varios actuadores, estas permiten que desde un dispositivo compacto se pueda controlar diferentes variables dentro del software, precisamente por esta característica se ha seleccionado este dispositivo como control físico externo del software Unity 3D.

La sencillez de manejo y accesibilidad a sus funciones permiten una mejor operabilidad dentro del control, a diferencia de otros controles los cuales tienen un extenso panel lo que causa que el tiempo de respuesta del operador se prolongue (véase la Figura 32).

Figura 32. Control Xbox

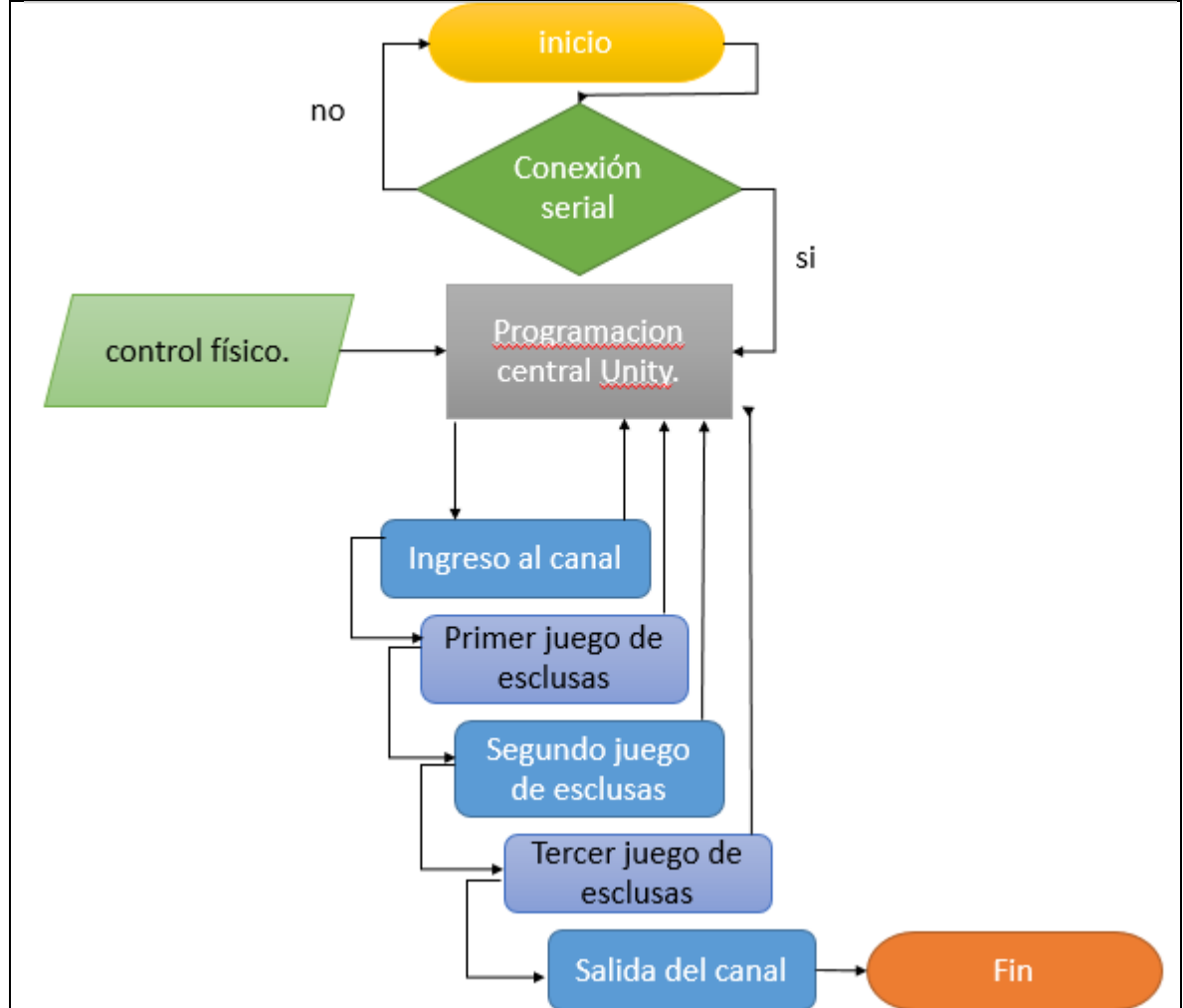


Fuente. MERCADO LIBRE. Control xbox [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-461423186-control-xbox-clasico-color-negro-alambrico-joypad-mando-_JM. Octubre de 2017>

2.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

La (figura 33) el funcionamiento de flujo del sistema de simulación, el cual se comprende de un núcleo central de procesamiento y sus diferentes entradas del sistema físico o programado.

Figura 33. Diagrama de Flujo del Sistema de Simulación y Control Físico



Fuente. Los Autores.

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1 IMPLEMENTACIÓN SOFTWARE

3.1.1 Algoritmos. Se desarrollaron diferentes algoritmos para la configuración y simulación de los diferentes objetos en Unity 3D, así como interfaces de comunicación serial con Arduino NANO ®. A continuación, se describe cada una de estos.

Dentro de los anexos (A, B, C, D, E) se encuentra la explicación de cada uno de los códigos programados para la simulación y el control físico que hacen posible la ilustración del nuevo modelo de plataforma para remolque de buques.

➤ **Programación control serial.txt (ver anexo A).** En este anexo, se encuentra la programación diseñada dentro del Script bajo el lenguaje de C++, para la comunicación serial entre el control físico y el software Unity 3D incluyendo métodos creados en las clases del buque y plataforma.

➤ **Programación plataforma.txt (ver anexo B).** En este anexo se encuentra la programación diseñada para el movimiento de la plataforma dentro de la simulación en Unity 3D respondiendo a los requerimientos de la clase del control serial.

➤ **Programación barco.txt (ver anexo C).** En este anexo se encuentra la programación diseñada para el movimiento del buque dentro de la simulación en Unity 3D, respondiendo a los requerimientos de la clase de control serial y plataforma.

➤ **Programación arduino.txt. (Ver anexo D).** En este anexo se encuentra la programación diseñada el módulo Arduino nano® para la comunicación serial y respuestas entre el control físico y el software.

La comunicación realizada entre el Arduino nano ® y el software, se realiza con una velocidad de 256000 baudios, lo cual permite tener una fluidez en los datos en tiempo real, entre el sistema físico externo y la simulación. Se escoge precisamente esta velocidad dado que es la velocidad serial máxima permitida por el Arduino nano ®. Por otra parte, al realizar pruebas a una velocidad inferior se producía una disminución significativa entre la comunicación del software y hardware.

Dentro de los SCRIPTS que se pueden generar en UNITY 3D se pueden realizar bajo lenguaje java y C++ los scripts realizados en la simulación son SCRITPS en lenguaje C++ con orientación a objetos, los archivos java scripts se caracterizan en su mayoría para generar animaciones las cuales se guardan para reproducir o involucrar una cantidad amplia de Gameobjects.

La interfaz física fue diseñada y controlada por medio del Arduino nano ®. En la siguiente tabla se muestra la forma en la cual se distribuyeron las variables para la comunicación serial e interacción con el software. Se muestra la respuesta del Arduino Nano ® a cada entrada análoga tomada por los joystick y pulsadores dentro del control físico modificado (véase la Tabla 5).

Tabla 5. Variables VITCAPLA

puerto analogo arduino A(X)	posicion que representa	ENTRADA ANALOGA CON CONVERSION	SALIDA SERIAL
A0	ARRIBA PLATAFORMA	0-255	132
A1	ABAJO PLATAFORMA	0-255	131
A2	IZQUIERDA PLATAFORMA	0-100	122
	DERECHA PLATAFORMA	150-255	123
A3	ADELANTE PLATAFORMA	0-100	124
	ATRAS PLATAFORMA	150-255	125
A4	IZQUIERDA BUQUE	0-100	127
	DERECHA BUQUE	150-255	126
A5	ADELANTE BUQUE	0-100	128
	ATRAS BUQUE	150-255	129
D2	ANCLAMIENTO	HIGH	130

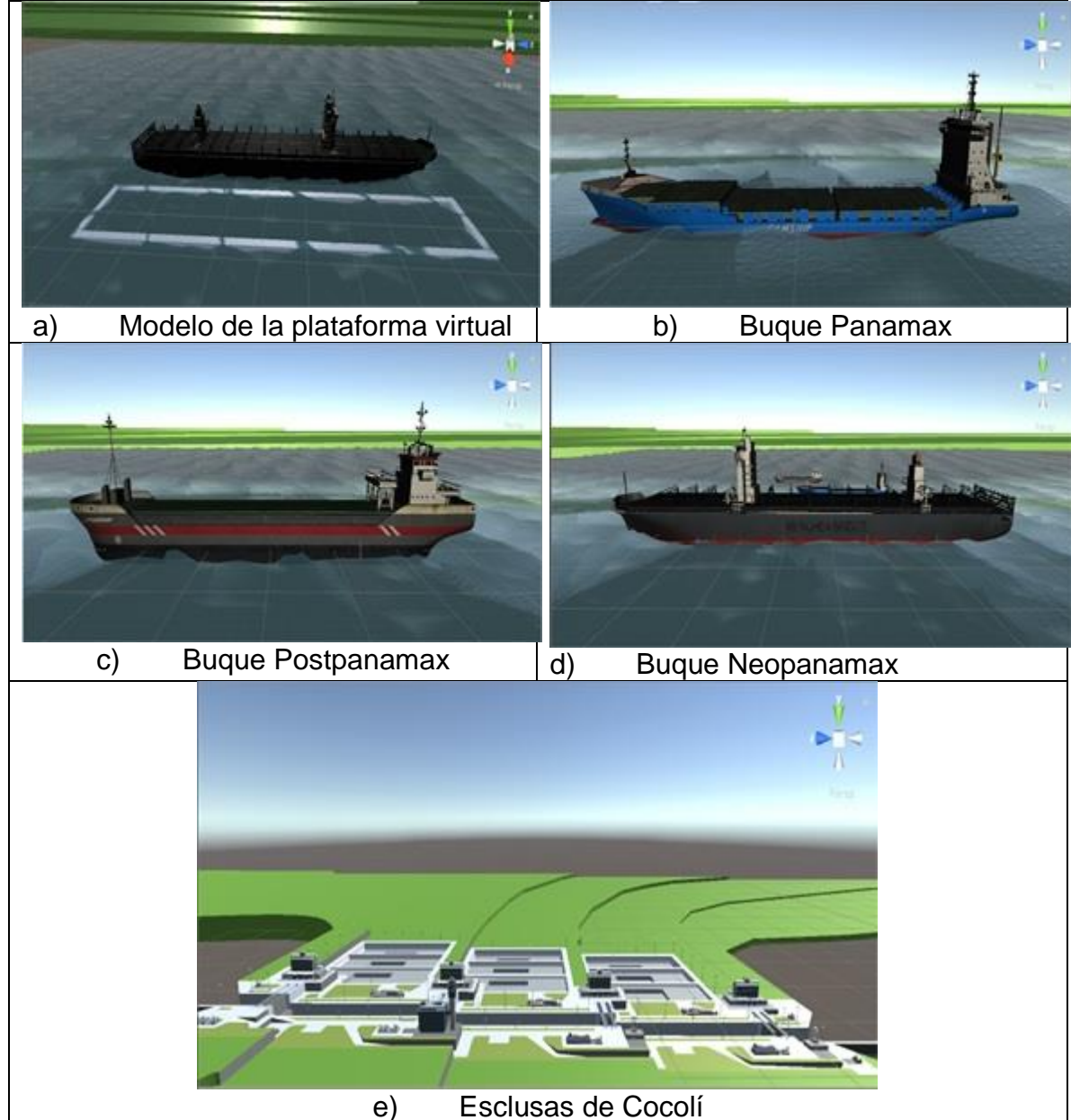
Fuente. Los Autores.

En (la tabla 5) se detallan las lecturas por parte del Arduino nano ® en los puertos análogos A (X) con el proceso asignado dentro de la programación, sea el movimiento direccional tales como atrás, adelante, izquierda, derecha o posiciones de altura sobre un nivel como es arriba y abajo; de igual forma se muestra el rango del valor leído, que cumpliría la condición para el accionamiento del proceso y la respuesta serial enviada al software si este se cumple

3.2 DISEÑO ENTORNO REALIDAD VIRTUAL UNITY

Cada uno de los Gameobject se encuentra con un nombre bastante específico sobre su posición y papel dentro de la simulación. De igual forma, dentro de los anexos (A, B, C, D, archivos de block de notas), se pueden observar los SCRIPTS con sus respectivos códigos explicados, los cuales permiten la interacción de los diferentes Gameobjects dentro de la simulación y de esta manera la interacción por medio de comunicación serial hacia el control físico externo (véase la Figura 34).

Figura 34. Gameobjects Utilizados en Unity



Fuente. Los Autores

3.3 IMPLEMENTACIÓN HARDWARE

3.3.1 Adaptación del control físico. En la construcción del control físico se realizó la modificación de un control de Xbox clásico al cual se le modificó el circuito impreso controlador del mismo bajo los requerimientos del sistema. Este proceso se realizó utilizando los mismos actuadores mecánicos del control basado en potenciómetros de precisión de 100 k Ω . Al circuito impreso se le ajustó el Arduino nano® y su sistema de control a lazo abierto.

El diseño tuvo en cuenta las dimensiones físicas del circuito impreso original del control de Xbox, con el fin de mantener la misma distancia entre los joysticks y los contactos de pulsación de grafito y su estructura interna como tal. De igual forma como opción de tecnología renovable se utilizaron los mismos bloques de contacto de grafito para el control, para así poder asegurar un mejor manejo del mismo y sus componentes.

El diseño e implementación del circuito impreso se lleva a cabo de forma manual debido a que se debe mantener la misma estructura física del circuito impreso original del control, las medias y morfología de la váquela fueron más sencillas de diseñar manualmente que mediante un software dado que se la posición del joystick, pulsadores y los circuitos reutilizados debían estar ubicados con tal precisión que al ensamblar el control no hubiera falla. En la siguiente Figura 35. Se presentan las siguientes fases de este proceso.

Figura 35. Diferentes Fases en la Adaptación del Circuito Impreso para el Control Físico

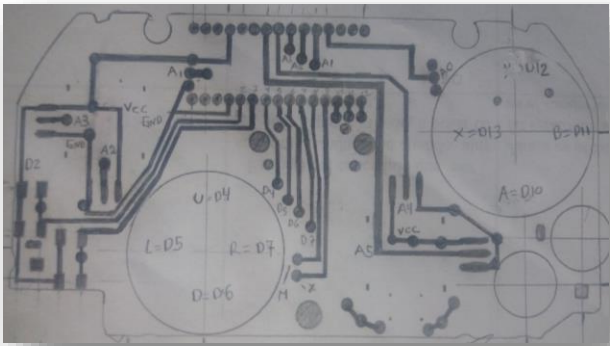
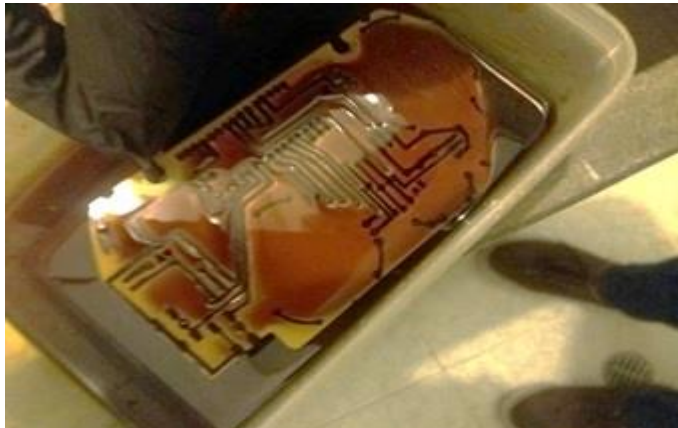
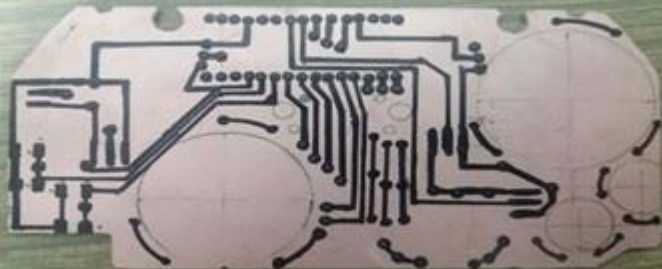
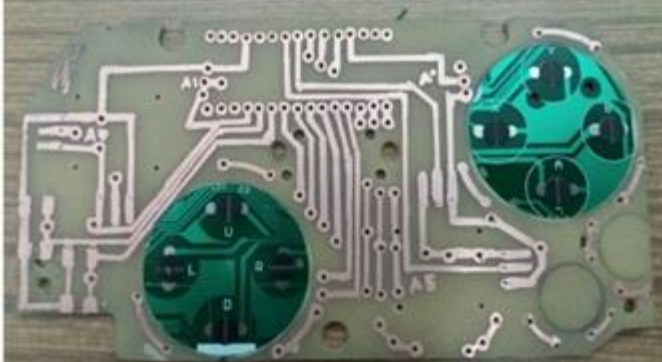

	<p>a) Diseño de nuevo circuito impreso.</p> <p>Circuito impreso de control físico externo manual dado a las características geométricas de la váquela.</p>
	<p>b) Vaquela en solución ácida.</p> <p>realizacion del circuito impreso por medio de solucion acida removedora de cobre.</p>

Figura 35. (Continuación)

	<p>c) Circuito impreso.</p> <p>circuito impreso marcado con sharpie para solución acida.</p>
	<p>d) Reutilización de pulsadores.</p> <p>Circuito impreso con pistas de cobre finales.</p>
	<p>e) Montaje electrónico</p> <p>Tarjeta madre de control físico con joystick.</p>

Fuente. Los Autores

3.4 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

3.4.1 Pruebas de programación GameObjects buques. Durante el desarrollo de la configuración de los buques se definió los modelos a trabajar dentro de la simulación entre ellos los buques Panamax, Pospanamax y Neopanamax para los cuales se dirige el diseño del modelo de plataforma remolcadora.

➤Al configurar virtualmente cada uno de los buques de manera individual presentaba gran facilidad y accesibilidad, las pruebas fueron simples y únicamente se comprobó que respondiera al movimiento cardinal con las teclas direccionales del teclado: adelante, atrás, izquierda y derecha.

➤ La segunda prueba se realizó con el bloque de código del control físico, dado que la programación en Unity 3D se debe realizar bajo la estructura de programación orientada a objetos, se tuvo un problema al comunicar todas las clases con la clase principal de comunicación, el problema de esta conexión se soluciona extrayendo un objeto con las características de la clase de manera pública y colocándolo sus atributos dentro de cada método a utilizar (como se muestra en la figura 36 - 37)

Figura 36. Declaración de Objetos en la Clase Principal.

```
public class arduinocontrol : MonoBehaviour {  
    //public Transform mytransform;  
    public GameObject control;  
    public GameObject controlp;
```

Fuente. Los Autores

Figura 37. Llamado de Atributos de las Clases a las que Pertenecen los objetos Dentro de un Método Correspondiente.

```
void MoveObject(int AnalogRead){  
    drivercontroller mova = control.GetComponent<drivercontroller> ();  
    driverp movap = controlp.GetComponent<driverp> ();
```

Fuente. Los Autores

➤ Dentro de las pruebas se analiza que el desplazamiento por parte del control físico se realizaba, pero debido al comportamiento del buque en el agua este presentaba una desviación por la fuerza ejercida, dentro Unity 3D se presenta una Herramienta llamada “Rigidbody”, en la cual da características físicas de los GameObjects tratados, por lo tanto, se configura las fuerzas que afectaran al barco su peso y gravedad con el fin de que la fuerza ejercida por el agua fuera relacional al GameObject.

3.4.2 Pruebas Programación Control Físico.

➤ El inicio del control físico se da por medio del diseño de la váquela madre (figura 35), en donde se adapta los actuadores correspondientes del control original y el microcontrolador programable Arduino nano ®, al realizar la programación de comunicación se da como primera prueba el enlace e interacción con el software Unity 3D, el sistema respondió de manera correcta y se realizan pruebas básicas.

➤ En la segunda prueba se realiza la conversión análoga digital del joystick, en la cual se presentaba un problema dado que el posicionamiento de este debía corresponder a dos variables totalmente distintas, para ello se realiza la siguiente selección según la entrada análoga obtenida (véase la Figura 38).

Figura 38. Palanca de Joystick.



selección	izquierda	neutral	derecha
Entrada análoga	0 - 480	481 - 537	538 - 1024

Fuente. Los Autores

Como se muestra en la (figura 38) la entrada análoga se comprenderá de 0 a 1024 bits, por lo tanto, como el posicionamiento inactivo del joystick es el centro se realiza la división de esta entrada con un pequeño rango de desviación del 0.5% en cada dirección.

➤ Como tercera prueba se realiza la verificación, de cada función programada del control físico, esto responde a que el accionamiento de cada uno de los botones o joysticks dentro de este cumple con lo asignado en la programación (véase la Figura 39).

Figura 39. Funciones del control físico.



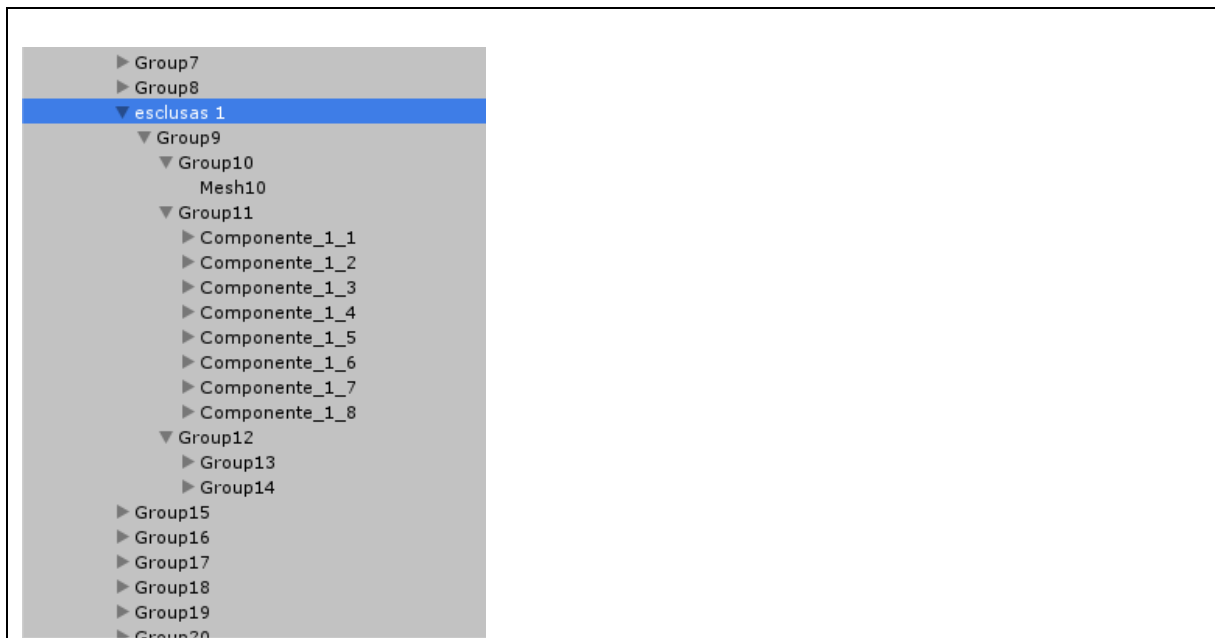
Fuente. Los Autores

3.4.3 Pruebas de Programación Entorno Virtual.

►La complejidad y calidad de los gráficos es un problema frecuente en el rendimiento de renderización dentro del software Unity 3D, dentro de la primera prueba realizada se presenta el problema de rendimiento por la alta calidad de la imagen, su peso en bytes y su procesamiento dado que el GameObject inicial pesaba alrededor de 4Gb, el problema principal se soluciona removiendo texturas y objetos dentro del diseño con el fin de tener como objetivo un modelo con el peso de 800 Mb.

►En la segunda prueba se importa el diseño 3D final del entorno al software Unity 3D, dado que está compuesto por múltiples subobjetos se utiliza un módulo “Meshcollider” sobre este, lo que hace la unión completa del diseño como un “GameObject” unitario, como se requiere mover algunas partes del entorno virtualizado, el “Meshcollider” inicial no permitió el movimiento de estas partes como lo son las esclusas y los niveles de agua del canal, esto se soluciona haciendo una renderización individual de los objetos específicamente de los mencionados anteriormente he individualizándolos del entorno principal, dándole una jerarquía para poder tener control sobre ellos (véase la Figura 40).

Figura 40. Individualización de componentes para esclusa 1 del entorno virtual.

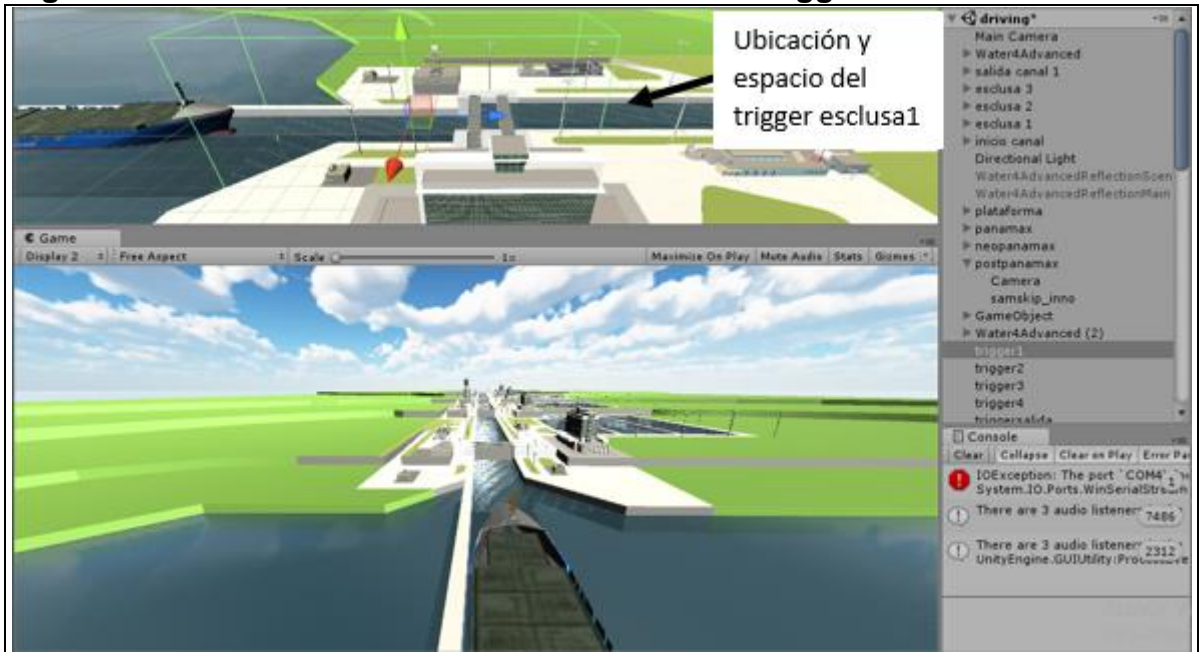


Fuente. Los Autores

La segunda prueba realizada al obtener el control de los componentes del entorno fue realizar “Triggers” dentro del entorno, los “triggers” permiten identificar cuando

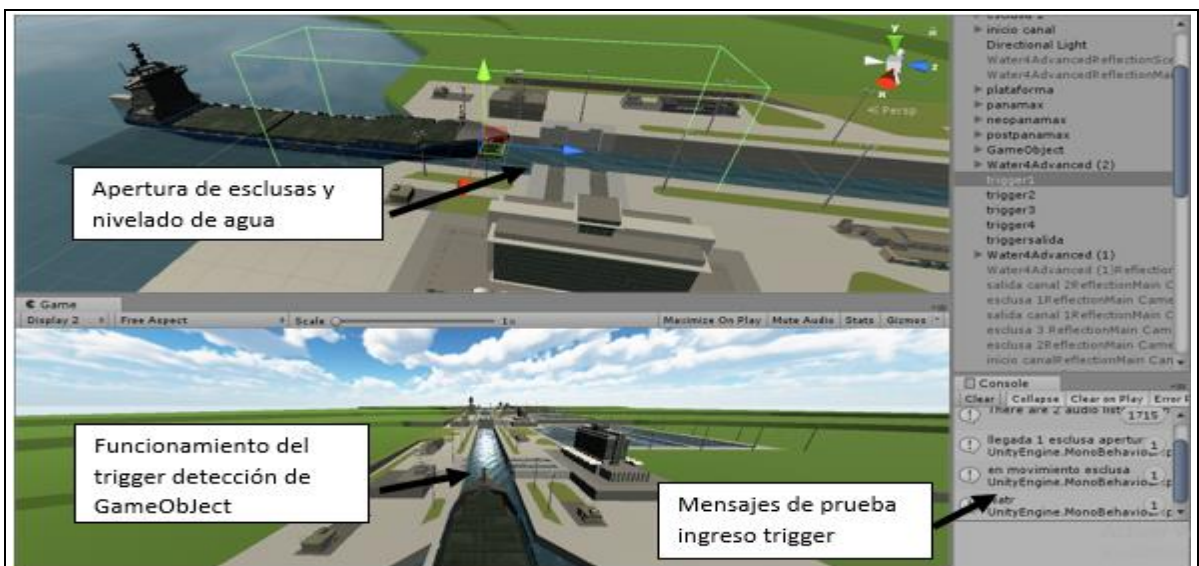
un GameObject pasa por un espacio específico dentro del entorno, por lo tanto dentro de la programación se realiza la respectiva programación y se valida con mensajes de prueba para verificar el funcionamiento de este (véase la Figura 41).

Figura 41. Prueba del entorno antes de entrar al “trigger” esclusa 1.



Fuente. Los Autores

Figura 42. Prueba funcionamiento trigger.



Fuente. Los Autores

3.4.4 Análisis de resultados.

- En las pruebas realizadas se refleja que la comunicación serial entre el Arduino nano ®. y el software Unity 3D es un poco lenta lo que nos obliga a realizar el cambio de velocidad de transmisión en baudios de 9600 a 256000.
- Se realiza un control de timers con el fin de hacer más efectiva la respuesta del control dado que la transmisión presentaba un efecto cuello de botella entre los datos enviados y el procesamiento del software.
- La simulación realiza la ilustración exacta del proceso de arribo y traslado de un buque con el sistema de plataforma remolque propuesto.
- El sistema de control permite controlar otros Gameobjects dependiendo de lo programado dentro de los softwares controladores.
- Dentro de las pruebas se identifica que las funciones del control y sus actuaciones se comportan de manera tal a lo diseñado y programado.
- Los recursos necesarios mínimos para poder operar el software Unity 3D y no presentar problemas de rendimiento es tener un procesador Intel Core i7 ® con una RAM de 8GB y disco duro de 1000GB.

4. MANUAL VITCAPLA

En este proyecto se tiene un manual de usuario, con el cual el usuario y operario del software podrá comprender el uso y características del software Unity 3D y la simulación del sistema VITCAPLA, tiene como objetivo dar a conocer funciones importantes y manipulación de esta con el fin de hacer más amigable la comprensión del comportamiento de la simulación, este se puede indagar en el (anexo E)

5. DESCRIPCION ECONOMICA DEL PROYECTO

➤ Costo Final de la Implementación

Tabla 6. Presupuesto del Proyecto

Elemento	Valor Final (Cop)
Control Xbox	\$20.000
Baquela Virgen 20x20	\$10.000
Acido diluido para circuitos impresos	\$7.000
Puerto USB Macho	\$5.000
Soldadura de Estaño	\$5.000
Cautin	\$25.000
Arduino Nano	\$20.000
Buques 3D	\$60.000
Entorno Canal Cocolí 3D	\$250.000
Mano de obra Diseño físico baquela	\$100.000
Mano de Obra de programación Unity	\$500.000
VALOR TOTAL	\$1.002.000

Fuente. Los Autores.

6. RECOMENDACIONES

- Se puede llevar una investigación del comportamiento real de la plataforma, teniendo en cuenta los parámetros de los buques en condiciones naturales del canal tales como: masa, inercia, dimensiones etc. A fin de validar de manera efectiva el desempeño de la plataforma.
- Crear metodologías de enseñanza de control en lazo cerrado que permitan la autonomía del sistema simulando los comportamientos desde el software UNITY y mejorando la complejidad del Software. Para esto sería necesario establecer un modelo matemático del sistema, que permita diseñar controladores de forma analítica, los cuales se validarían mediante simulación, adicionalmente se requiere implementar algoritmos de lectura de datos desde Unity 3D que permitan hacer seguimiento de las variables en tiempo real.
- Se recomienda continuar evaluando los algoritmos implementados y la interfaz de comunicación a fin de mejorar el desempeño de la simulación, pues se encontró que, pese a los recursos informáticos utilizados, la latencia de respuesta del software aun es considerable.
- Bajo los mismos principios utilizados en este proyecto, se podría evaluar la viabilidad de esta plataforma en otros entornos como puertos, donde las condiciones ambientales son diferentes a las de un canal.

7. CONCLUSIONES

- Finalizado este trabajo de grado, se cuenta con un modelo de plataforma virtual desarrollado en Unity 3D, que permite la interacción con un controlador externo implementado en Arduino nano ®, con el cual se visualiza el proceso de remolque de buques dentro de un canal naval, por medio del simulador gráfico en 3D que permite una ilustración animada del sistema y la plataforma dentro del entorno físico, con el cual modelamos el comportamiento del buque y la plataforma.
- El desarrollo de un entorno virtual permite la simulación de la propuesta del sistema remolcador de buques, desde un punto de vista más inmerso otorgando al usuario u observador un concepto claro del sistema tecnológico a implementar en este proceso, por consiguiente, un desarrollo en 3D en el entorno permite comprender el comportamiento de objetos dentro del mismo de una manera simulada asumiendo situaciones y condiciones marítimas similares a la realidad.
- La interacción del entorno de realidad virtual realizado en Unity 3D, agrupa varios conceptos de la vida real, en los cuales es posible el control físico del sistema, permitiendo asistir un buque bajo un sistema de plataforma remolcadora innovadora, manipulado por un control a lazo abierto externo, y guiado de manera visual según la respuesta obtenida por la simulación, con este control físico se desplaza cardinalmente el buque hasta completar el esclusado completo en el canal de Panamá.
- En el presente documento se han abordado conceptos básicos que puede servir de guía para la futura realización de proyectos de investigación e innovación, profundizando en la materialización de una plataforma virtual que pueda ser diseñada y patentada como solución tecnológica para el proceso de remolque de buques en un canal.
- La excursión realizada a las esclusas del canal de Panamá (Miraflores y Cocoli), permitió recopilar información sólida y valiosa para soportar el proyecto propuesto en este documento, ya que se evidenció que a pesar de ser una de las obras más grandes de ingeniería en el mundo presenta fallencias que dan paso al campo de la ingeniería para lograr siempre mejoras de las mismas.
- La Visita técnica al canal de Panamá fue imprescindible para el desarrollo de este trabajo. En esta se evidenció el funcionamiento de las esclusas y el proceso de remolque de buques en tiempo real, gracias a ello se pudo visualizar las expectativas y retos de los ingenieros implicados en el diseño e implementación del canal de Panamá, donde cada decisión y acción de mejora determinaron el éxito de esta obra, su conocimiento llegó a abarcar aspectos como: seguridad y rapidez en el tiempo de esclusaje de los buques, ampliamiento para permitir el paso de los más grandes y una mejor eficiencia en todo el sistema en general.

BIBLIOGRAFÍA

ALAEZ ZAZURCA, José Antonio. Comportamiento del Buque en la Mar [en línea]. La Coruña: Universidad de La Coruña [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/8921/CC20art2ocr.pdf?sequence=1>>

ALEA, Eduardo. “OPERATIVAS DE REMOLQUE MARITIMO” [En Línea]. Universidad de Cantabria [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7429/Eduardo%20Alea%20Diez.pdf?sequence=1>>

ALVARADO, Rafael. Visita Esclusas de Cocolí. En: Misión Académica Internacional Panamá 2017-III. Agosto – septiembre, 2017. vol. 1, no. 5.

AMERICA MIA. ¿Cómo funciona el nuevo canal de Panamá? [en línea]. Bogotá: Youtube [citado 15 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Pcw0TocHSnk>>

BARTNECK, Christoph. The Robot engine-making the unity 3D game engine work for HRI [en línea]. Japan: IEEXPLORE [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?reload=true&newsearch=true&queryText=The%20Robot%20Engine%20-%20Making%20The%20Unity%203D%20%20Game%20Engine%20Work%20For%20HRI>>

BAUTISTA, Guillermo; BORGES, Federico y FORÉS, Ana. Didáctica Universitaria en Entornos Virtuales de enseñanza – aprendizaje [en línea]. Bogotá: Google Books [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=DJGxngD1I90C&oi=fnd&pg=PA11&dq=herramientas+virtuales+como+aprendizaje+colombia&ots=DpJ9I-ymQ6&sig=0dFaMiyfcqylj1_-43JJwwacSZc#v=onepage&q&f=true>

BUCK INSTITUTE FOR EDUCATION (BIE). ¿Qué es el aprendizaje basado en proyectos PBL? [en línea]. California: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://www.bie.org/about/what_pbl>

BUITRAGO MOLINA, José T. Plataforma virtual para el mando local y remoto de un brazo robótico de apoyo para la educación en ingeniería [en línea]. Medellín: Tecno lógicas [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000100007>

CHACON RUGELES, Rafael. La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica [en línea]. Caracas: Acción Pedagógica [citado 23 septiembre,

2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/17071/1/art8_v11n1.pdf>

GARCÍA, Roberto. Remolcadores [en línea]. Bogotá: Ingeniero Marino [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://ingenieromarino.com/9-remolcadores/>>

HILERA, José R. Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza a través de internet [en línea]. Madrid: Universidad de Alcalá [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://pendientedemigracion.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/num8/hilera-oton.html>>

INDRA. A cerca de la empresa [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.indracompany.com/es>>

LUDEÑA, Ignacio. Influencia de la próxima inauguración de la ampliación del Canal de Panamá en las rutas transoceánicas del transporte de mercancías [en línea]. Madrid: Escuela de Organización Industrial [citado 1 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.eoi.es/blogs/madeon/page/5/>>

MERCADO LIBRE. Control xbox [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-461423186-control-xbox-clasico-color-negro-alambrico-joypad-mando-_JM>. Octubre de 2017>

MI CANAL DE PANAMÁ. Videos [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/categoria/canal-de-videos/>>

------. ¿En qué consisten las tinas de reutilización de agua? [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 1 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/ampliacion/preguntas-frecuentes/>>

------. Sobre el canal [en línea]. Ciudad de Panamá: La Empresa [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://micanaldepanama.com/>>

MONTERO AVENDAÑO, Ana Karina. Simulación de procesos empresariales [en Línea]. Barranquilla: Word press [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/a-historia-de-la-simulacion/>>

MUDARRA, Jetzabel. Las nuevas esclusas del canal ampliado ya tienen nombre [en línea]. Ciudad de Panamá: Diario Día a Día [Citado 3 de Noviembre de 2017].

Disponible en internet: <URL: <http://www.diaadia.com.pa/el-pa%C3%ADs/las-nuevas-esclusas-del-canal-ampliado-ya-tienen-nombre-290319>>

NAUTIC EXPO. Simulador de navegación / para remolcador [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.nauticexpo.es/prod/transas-marine-international/product-22918-415993.html>>

PÉREZ ROJAS, Luis. Diseño de modelos de vehículos marinos automatizados [en línea]. Madrid: XXV Jornadas de Automática [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/149-igerosnng.pdf>>

PORRÚA LARA, Manuel. Anteproyecto de remolcador de altura de 35 T.P.F. (Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Técnica Naval) [en línea]. Cádiz: Universidad de Cádiz [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7247/b34403851.pdf?sequence=7>>

REMOLCADORES Y ACTUALIZACIONES DE SALVAMIENTO MARITIMO (Escuela técnica Superior de Náutica) [En Línea]. Universidad de Cantabria. [citado 19 noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1415/Alejandro%20Orviz%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1>>

REPORTEROS ASOCIADOS. Inauguración de canal ampliado de Panamá será este domingo [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.reporterosasociados.com.co/2016/06/inauguracion-de-canal-ampliado-de-panama-sera-este-domingo/>>

RODRIGUEZ DÍAZ, Oscar Oswaldo. Herramienta Virtual para la Enseñanza de Control Automático usando PBL [en línea]. Cartagena: Encuentro internacional de educación en Ingeniería ACOFI [citado 20 julio, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/viewFile/881/313>>

SALINAS, Jesús. Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria [en Línea]. Cataluña: Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC). [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.uoc.edu/rusc/dt/esp/salinas1104.pdf>>.

SALVETTI, Diego. Sistemas de Control: Lazo abierto/cerrado [en línea]. Bogotá: Escuela de Educación Técnica [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://eet602ei.blogspot.com.co/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html>>

SANDOVAL SOLIS, María; JUÁREZ VALENCIA, Lorenzo y FLORES, Ciro. Simulación de modelos en ecuaciones diferenciales ordinarias [en línea]. Monterrey: Coloquio del Departamento de Matemáticas [citado 23 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hect/material_didactico/notas-2ColoquioOpt.pdf>

TRANSAS. Soluciones de navegación e integración a bordo [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.transas.com/products/navigation>>

----- . Vessel traffic management solutions [en línea]. Little Island: La Empresa [citado 10 agosto, 2017]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.transas.com/Port-and-Vessel-Traffic-Management-Solutions /Marine/VTs](http://www.transas.com/Port-and-Vessel-Traffic-Management-Solutions/Marine/VTs)>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ. Misión Académica Internacional Panamá 2017-III [CD-ROM]. Ciudad de Panamá: La Universidad. 2017. Reseña Histórica. Panamá.

ZEA RESTREPO, Claudia. Uso de medios y tecnologías de Información y comunicación en educación superior [en línea]. Bogotá: Ministerio de Educación [citado 20 septiembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/articles-139716_archivo_pdf18.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Programación Barco

```
//librerias declaradas dentro del script
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
//clase principal controladora del buque
public class drivercontroller : MonoBehaviour {
    private Transform mytransform; //objeto mytransform que hereda propiedades de la clase transform
    de controles fisicos.
    public float speed; // variables controladoras de velocidad y direccion;
    public float grados;
    //private float axis, speedp, gradosp;
    //private float xaxis,zaxis;
    void Start () {
        mytransform = GetComponent <Transform> (); // heredacion de componentes de la clase transform
        que permite propiedades de fisica
        speed = 30;
        grados = 15;
    }
    //metodo ciclico que se ejecuta durante la ejecucion de la clase principal
    public void Update () {
        //condicionales para identificacion de control del barco con teclas de direccion desde el teclado
        if (Input.GetKey("up"))
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speed) * Time.deltaTime);
        if (Input.GetKey("down"))
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speed) * Time.deltaTime);
        if (Input.GetKey("right"))
            mytransform.Rotate (new Vector3 (0, grados, 0) * Time.deltaTime);
        if (Input.GetKey("left"))
            mytransform.Rotate (new Vector3 (0, -grados, 0) * Time.deltaTime);
    }
    // metodo publico que sera llamado desde la clase arduinocontrol por la comunicacion serial
    public void bar(float axis, float speedp, float gradosp){
        print("yes it's in bar"); //impresion dentro de UNITY que nos indica que se encuentra dentro del
        metodo
        speed = speedp;
        grados = gradosp;
        if (axis == 1)
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speed) * Time.deltaTime); // control de posicion por medio
            con objeto mytransform
        if (axis == 2)
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speed) * Time.deltaTime);
        if (axis == 3)
            mytransform.Rotate (new Vector3 (0, -grados, 0) * Time.deltaTime);
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, 0) * Time.deltaTime);
        if (axis == 4)
            mytransform.Rotate (new Vector3 (0, grados, 0) * Time.deltaTime);
            mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, 0) * Time.deltaTime);
    }
    // metodo publico para identificar cuando el barco se encuentra anclado ala plataforma
```

```
public void anclado(float axis, float speedp){  
    if (axis == 1)  
        mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speedp) * Time.deltaTime); // control de posicion por  
        medio con objeto mytransform  
    if (axis == 2)  
        mytransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speedp) * Time.deltaTime);  
    if (axis == 3)  
        mytransform.Translate (new Vector3 (speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);  
    if (axis == 4)  
        mytransform.Translate (new Vector3 (-speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);  
}  
}
```

Anexo B. Programación Arduino

```
//metodo primaria que se ejecutara al inicio del programa
void setup() {
  Serial.begin(256000); //inicializacion de la comunicacion serial a 256000 baudios.
  pinMode(2,INPUT); //definicion de puertos digitales a usar.
  pinMode(8,OUTPUT); //definicion de puertos digitales a usar.
  digitalWrite(2,LOW); //inicializacion de puertos digitales.
  digitalWrite(8,LOW); //inicializacion de puertos digitales.
}
void loop() {
  long int SA0 = analogRead(A0); //lectura de puerto analogo 0
  long int CA0 = ((SA0*255)/1024); //conversion de lectura a espacio de salida
  long int SA1 = analogRead(A1);
  long int CA1 = ((SA1*255)/1024);
  long int SA2 = analogRead(A2);
  long int CA2 = ((SA2*255)/1024);
  long int SA3 = analogRead(A3);
  long int CA3 = ((SA3*255)/1024);
  long int SA4 = analogRead(A4);
  long int CA4 = ((SA4*255)/1024);
  long int SA5 = analogRead(A5);
  long int CA5 = ((SA5*255)/1024);
  int IB = 122; // asignacion de valores de algunas variables
  int DB = 123;
  int AB = 124;
  int ABB = 125;
  int IP = 126;
  int DP = 127;
  int AP = 128;
  int ABP = 129;
  // en este segmento se realiza los condiciones respecto a las lecturas de los puertos analogos y se
  // da su respectivo valor de salida por el puerto serial.
  if(CA1 < 240)
  {
    Serial.write(132);
    delay(20);
  }
  if(CA0 < 120){
    Serial.write(131);
    delay(20);
  }
  if(CA2 < 100)
  {
    //izquierda barco
    Serial.write(122);
    delay(20);
    //Serial.flush();
  }
  if(CA2 > 150)
  {
    //derecha barco
    Serial.write(123);
```

```

    delay(20);
    // Serial.flush();
  }
  if(CA3 < 100)
  {
    //arriba barco
    Serial.write(125);
    delay(20);
    //Serial.flush();
  }
  if(CA3 > 150)
  {
    //abajo barco
    Serial.write(124);
    delay(20);
    //Serial.flush();
  }
  if(CA4 < 90)
  {
    //izquierda plataforma
    Serial.write(127);
    delay(20);
    //Serial.flush();
  }
  if(CA4 > 160)
  {
    //derecha plataforma
    Serial.write(126);
    delay(20);
    // Serial.flush();
  }
  if(CA5 < 100)
  {
    //arriba plataforma
    Serial.write(129);
    delay(20);
    // Serial.flush();
  }
  if(CA5 > 200)
  {
    //abajo plataforma
    Serial.write(128);
    delay(20);
    //Serial.flush();
  }
  if(digitalRead(2) == HIGH)
  {
    Serial.write(130);
    digitalWrite(8,HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(8,LOW);
  }
  delay(100);
}

```


Anexo C. Programación Plataforma

```
// librerias declaradas dentro del script
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
// clase principal controladora la plataforma
public class driverp : MonoBehaviour {
    private Transform pltransform; //objeto pltransform que hereda propiedades de la clase transform
    de controles fisicos.
    public GameObject movimiento; // creacion de GameOject publico para poder realizar llamados
    del objeto desde otras clases.
        public float speedp; // variables controladoras de velocidad y direccion;
        public float speeddown;
        public float gradosp;
        private int N;
        void Start () {
            pltransform = GetComponent <Transform> (); // heredacion de componentes de la clase transform
            que permite propiedades de fisica
            speedp = 30;
            gradosp = 15;
            peeddown = 30;
        }
        // metodo ciclico que se ejecuta durante la ejecucion de la clase principal
        void Update () {
            //condicionales para identificacion de control de la plataforma con teclas de direccion desde el
            teclado
            if (Input.GetKey("t"))
                pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speedp) * Time.deltaTime);
            if (Input.GetKey("g"))
                pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speedp) * Time.deltaTime);
            if (Input.GetKey("h"))
                pltransform.Rotate (new Vector3 (0, gradosp, 0) * Time.deltaTime);
            if (Input.GetKey("f"))
                pltransform.Rotate (new Vector3 (0, -gradosp, 0) * Time.deltaTime);
            if (Input.GetKey ("z"))
                pltransform.Translate(new Vector3 (0, speeddown, 0)*Time.deltaTime);
            if (Input.GetKey ("x"))
                pltransform.Translate(new Vector3 (0, -speeddown, 0)*Time.deltaTime);
        }
        // metodo publico que sera llamado desde la clase arduinocontrol por la comunicacion serial
        public void ptbar (float axis,float speed,float grados){
            print ("yes it's in ptbar");
            speedp = speed;
            gradosp = grados;
            if (axis == 1)
                pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speedp) * Time.deltaTime); // control de posicion por
            medio con objeto pltransform
            if (axis == 2)
                pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speedp) * Time.deltaTime);
            if (axis == 3
                                //pltransform.Rotate (new Vector3 (0, gradosp, 0) *
            Time.deltaTime);
            pltransform.Translate (new Vector3 (speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);
        }
    }
```

```

if (axis == 4)
//pltransform.Rotate (new Vector3 (0, -gradosp, 0) * Time.deltaTime);
pltransform.Translate (new Vector3 (-speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);
if (axis == 5)
pltransform.Translate (new Vector3 (0, speed, 0) * Time.deltaTime);
if (axis == 6)
pltransform.Translate (new Vector3 (0, -speed, 0) * Time.deltaTime);           // metodo publico
para identificar cuando el barco se encuentra anclado ala plataforma
public void anclado(float axis,float speedp){
if (axis == 1)
pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, -speedp) * Time.deltaTime);// control de posicion por
medio con objeto pltransform
if (axis == 2)
pltransform.Translate (new Vector3 (0, 0, speedp) * Time.deltaTime);
if (axis == 3)
pltransform.Translate (new Vector3 (speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);
if (axis == 4)
pltransform.Translate (new Vector3 (-speedp, 0, 0) * Time.deltaTime);
}
}

```

Anexo D. Programación Control Serial

```
// librerias declaradas dentro del script
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System.IO.Ports; // libreria especial para transmision serial
// clase principal controladora la comunicacion serial con el control fisico
public class arduinocontrol : MonoBehaviour {
    //public Transform mytransform;
    public GameObject control; // creacion de GameObject publico para poder realizar
    // llamados del objeto desde otras clases.
    public GameObject controlp; // creacion de GameObject publico para poder realizar
    // llamados del objeto desde otras clases.
    public float speed; // variables controladoras de velocidad y direccion;
    public float grados;
    private int N, anclar;
    public static SerialPort sp = new SerialPort ("COM4", 256000); // parametros para
    // comunicacion a una velocidad de 256000 baudios
    // Use this for initialization
    void Start () {
        sp.Open(); // apertura de la comunicacion serial
        sp.ReadTimeout = 1; // tiempo de lectura
        speed = 30;
        grados = 15;
        N = 0;
        anclar = 0;
    }
    // metodo ciclico que se ejecuta durante la ejecucion de la clase principal
    void Update () {
        // condicionales que controlan la comunicacion serial
        if(sp.IsOpen){
            try{
                // llamado de metodos para permitir el control de los Gameobjects de la simulacion;
                if(anclar == 0){
                    MoveObject(sp.ReadByte()); // llamado del metodo principal de comunicacion y lectura serial
                    print("open");
                    print(sp.ReadByte());
                }
                if(anclar == 1){
                    anclado(sp.ReadByte());
                    print("open2");
                    print(sp.ReadByte());
                }
            }
            catch(System.Exception) {
            }
        }
        // metodo provado que controla la respuesta serial y ejecucion del proceso de simulacion
        void MoveObject(int AnalogRead){
            drivercontroller mova = control.GetComponent<drivercontroller> (); // creacion de objeto de la clase
            // controladora del buque
            driverp movap = controlp.GetComponent<driverp> (); // creacion del objeto de la clase controladora
            // de la plataforma
        }
    }
}
```

```

print ("int");
if (AnalogRead == 131) {
N = 5;
movap.ptbar (N, speed, grados); // llamado de metodos para plataforma
N = 0;
} else if (AnalogRead == 132) {
N = 6;
movap.ptbar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 130) {
anclar = 1;
} else if (AnalogRead == 122) {
N = 4;
movap.ptbar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 123) {
N = 3;
movap.ptbar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 124) {
N = 2;
movap.ptbar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 125) {
N = 1;
movap.ptbar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 126) {
N = 3;
mova.bar (N, speed, grados); // llamado de metodos para buque
N = 0;
} else if (AnalogRead == 127) {
N = 4;
mova.bar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 128) {
N = 2;
mova.bar (N, speed, grados);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 129) {
N = 1;
mova.bar (N, speed, grados);
N = 0;
}
}
// metodo para posicionamiento de anclado del buque.
void anclado(int AnalogRead){
drivercontroller mova = control.GetComponent<drivercontroller> ();
driverp movap = controlp.GetComponent<driverp> ();
print ("EN EL ANCLA")
if (AnalogRead == 130) {
anclar = 0;
} else if (AnalogRead == 122) {
N = 4;

```

```

movap.anclado (N, speed);// llamado de metodos para plataforma
mova.anclado (N, speed);// llamado de metodos para buques
N = 0;
} else if (AnalogRead == 123) {
N = 3;
movap.anclado (N, speed);
mova.anclado (N, speed);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 124) {
N = 2;
movap.anclado (N, speed);
mova.anclado (N, speed);
N = 0;
} else if (AnalogRead == 125) {
N = 1;
movap.anclado (N, speed);
mova.anclado (N, speed);
N = 0;
}
}
}

```

Anexo E. Manual software simulador plataforma robótica remolcadora de buques VITCAPLA (VER ARCHIVO DIGITAL PDF MANUAL USUARIO)